

UDC

中华人民共和国行业标准

TB

TB 10101 — 2018
J 961 — 2018

P

铁路工程测量规范
Code for Railway Engineering Survey

2018-12-03 发布

2019-03-01 实施

国 家 铁 路 局 发 布

中华人民共和国行业标准

铁路工程测量规范

Code for Railway Engineering Survey

TB 10101—2018

J 961—2018

主编单位：中铁二院工程集团有限责任公司

批准部门：国家铁路局

施行日期：2019年3月1日

中国铁道出版社有限公司

2019年·北京

前 言

本规范是根据国家铁路局构建铁路工程建设标准体系的要求,为满足铁路建设和发展的需要,统一速度 200 km/h 及以下铁路工程测量标准,提高铁路工程测量技术水平,保证测绘成果质量满足铁路勘测、施工、运营维护各个阶段的应用需要,在《铁路工程测量规范》TB 10101—2009 的基础上,总结近年来我国铁路工程测量的实践经验和科研成果,借鉴了国内外有关技术标准的规定,在广泛征求意见的基础上,全面修订而成。

本规范根据我国铁路工程建设的要求,结合我国国情和测绘技术的发展,按照“技术先进成熟、安全可靠、经济适用”的原则,合理确定了不同运输性质类型、不同轨道结构类型、不同速度等级铁路工程测量的技术标准,进一步提升了规范的科学性和技术经济合理性。

本规范共分 10 章,内容包括:总则、术语和符号、平面控制测量、高程控制测量、线路测量、隧道测量、桥涵测量、构筑物变形测量、轨道施工测量和竣工测量,另有 9 个附录。

本次修订的主要内容如下:

1. 扩展了适用范围。适用范围由原来的“适用于旅客列车设计速度 200 km/h 及以下新建有砟轨道铁路工程测量”扩展为“适用于新建设计速度 200 km/h 及以下铁路工程测量”,涵盖新建设计速度 200 km/h 及以下客货共线、城际、重载铁路等。

2. 根据有砟轨道铁路轨道精调和养护的要求,增加了有砟轨道铁路 CPⅢ 控制网采用自由测站方式测设的相关测量技术标准。

删除了速度 160 km/h~200 km/h 有砟轨道铁路 CPⅢ控制网导线测量的相关内容。

3. 增加了新建速度 200 km/h 及以下无砟轨道铁路工程测量的技术标准。

4. 增加了新建城际铁路和重载铁路工程测量的相关内容。

5. 优化了控制测量网形,将 CPⅠ控制点布设方案修改为 2 km 布设一个或 4 km 布设一对。

6. 对卫星定位测量各等级固定误差 a 与比例误差系数 b 进行了调整,增补了各等级控制网约束点方位角精度指标要求。

7. 删除了卫星定位测量同步环闭合差要求,按极限误差为中误差 2 倍的原则对卫星定位测量独立环闭合差限差进行了调整。

8. 增补了困难地区采用精密光电测距三角高程测量进行二等高程控制测量的方法及技术要求。

9. 增加了框架控制网(CP0)测量内容。

10. 增加了隧道洞内 CPⅡ自由测站边角交会测量方法及技术要求。

11. 增加了卫星定位(GNSS)高程测量内容。

12. 对控制网交桩及复测内容进行了完善,调整了 CPⅠ、CPⅡ复测限差,明确了各阶段控制网复测成果的采用原则。

13. 增加了施工控制网加密测量内容。

14. 增加了“轨道施工测量”和“竣工测量”两章内容。

在执行本规范过程中,希望各单位结合工作实践,认真总结经验,积累资料。如发现需要修改和补充之处,请及时将意见和有关资料寄交中铁二院工程集团有限责任公司技术中心(四川省成都市通锦路 3 号,邮政编码:610031),并抄送国家铁路局规划与标准研究院(北京市西城区广莲路 1 号建工大厦 B 座,邮政编码:100055),供今后修订时参考。

本规范由国家铁路局科技与法制司负责解释。

主编单位:中铁二院工程集团有限责任公司。

参编单位:中铁第一勘察设计院集团有限公司、中铁十二局集团有限公司、中铁大桥勘测设计院集团有限公司、中国铁路经济规划研究院、西南交通大学。

主要起草人:卢建康、梅熙、赖鸿斌、李涛、戴颖、李学仕、王国祥、付宏平、刘华、陈光金、刘军华、吴迪军、刘成龙、程昂、汤曦、蔡建国、任晓春、李兴春、熊伟。

主要审查人:王长进、刘燕、薛吉岗、冯光东、刘珣、余鹏、张金龙、赵海、曹成度、徐万鹏、譙生有、付建斌、杨松林、桑翠江、高索、罗庄、吴杭舜。

本规范的历次版本发布情况:《新建铁路工程测量规范》TB 10101—99;《铁路工程测量规范》TB 10101—2009。

目 次

1	总 则	1
2	术语和符号	3
2.1	术 语	3
2.2	符 号	6
3	平面控制测量	7
3.1	一般规定	7
3.2	卫星定位测量	8
3.3	导线测量	11
3.4	三角形网测量	17
3.5	框架控制网(CP0)测量	18
3.6	基础平面控制网(CP I)测量	22
3.7	线路平面控制网(CP II)测量	23
3.8	隧道洞内 CP II 测量	25
3.9	轨道控制网(CP III)平面测量	30
3.10	成果资料整理	35
4	高程控制测量	38
4.1	一般规定	38
4.2	水准测量	39
4.3	光电测距三角高程测量	42
4.4	精密光电测距三角高程测量	44
4.5	跨河水准测量	45
4.6	卫星定位(GNSS)高程测量	50

4.7	线路水准基点测量	51
4.8	轨道控制网(CPⅢ)高程测量	52
4.9	内业计算及成果资料整理	57
5	线路测量	60
5.1	初测控制测量	60
5.2	地形测量	60
5.3	中线测量	64
5.4	横断面测量	66
5.5	路基测量	66
5.6	站场测量	67
5.7	专业调查测量	68
5.8	控制网交桩及复测	69
5.9	施工控制网加密测量	75
5.10	线下工程竣工测量	76
6	隧道测量	78
6.1	一般规定	78
6.2	初 测	80
6.3	定 测	81
6.4	控制网技术设计	81
6.5	洞外卫星定位测量	85
6.6	洞外导线测量	86
6.7	洞外高程控制测量	87
6.8	洞内平面控制测量	87
6.9	洞内高程控制测量	89
6.10	洞外控制网复测	90
6.11	施工测量	92
6.12	竖井联系测量	93

6.13	贯通误差的测定及调整	96
6.14	隧道竣工测量	97
6.15	资料整理及成果提交	98
7	桥涵测量	100
7.1	一般规定	100
7.2	桥址控制测量	101
7.3	桥址水文测量	103
7.4	桥(涵)址中线及断面测量	110
7.5	桥(涵)址地形测绘	111
7.6	桥梁施工平面控制测量	113
7.7	桥梁施工高程控制测量	115
7.8	桥梁施工控制网复测	116
7.9	施工放样及竣工测量	117
8	构筑物变形测量	127
8.1	一般规定	127
8.2	变形监测基准网	129
8.3	变形监测的主要方法和技术要求	130
8.4	路基变形测量	135
8.5	桥梁变形测量	135
8.6	隧道变形测量	137
8.7	测量成果整理	137
9	轨道施工测量	138
9.1	一般规定	138
9.2	无砟轨道施工测量	138
9.3	无砟轨道道岔安装测量	142
9.4	无砟轨道精调测量	144
9.5	有砟轨道铺设施工测量	145

9.6	有砟轨道道岔安装测量	146
9.7	有砟轨道精调测量	147
10	竣工测量	149
10.1	一般规定	149
10.2	线路竣工测量	149
10.3	竣工地形图及铁路用地界测量	150
10.4	竣工测量资料整理及交验	151
附录 A	全站仪技术要求	152
附录 B	控制点埋石图及标识	154
附录 C	控制点点之记	167
附录 D	水准仪、水准尺技术要求	168
附录 E	洞内 CPⅡ 自由测站边角交会测量构网形式	170
附录 F	CPⅢ 控制网构网形式	172
附录 G	自由测站 CPⅢ 测量观测手簿	177
附录 H	自由设站测量记录手簿	178
附录 I	隧道竖井联系三角形	179
	本规范用词说明	180
	《铁路工程测量规范》条文说明	181

1 总 则

1.0.1 为统一铁路工程测量的技术要求,保证测量成果满足勘测、施工、运营维护各个阶段的工程应用需求,制定本规范。

1.0.2 本规范适用于新建设计速度 200 km/h 及以下铁路工程测量。

1.0.3 铁路工程测量平面坐标系统应采用基于 2000 国家大地坐标系(CGCS2000)基准的工程独立坐标系,线路设计高程面上的投影长度变形值不宜大于 25 mm/km。桥梁和隧道施工控制网可采用施工独立坐标系。

1.0.4 铁路工程测量高程系统应采用 1985 国家高程基准。当个别地段无 1985 国家高程基准的水准点时,可引用其他高程或以独立高程起算,在全线高程测量贯通后,应消除断高,换算成 1985 国家高程基准。

1.0.5 铁路工程勘测、施工、运营维护各阶段的平面、高程控制测量必须采用统一的基准。

1.0.6 线路平面、高程控制测量精度等级应根据铁路类型、轨道结构、列车设计行车速度,分类分级进行设计。

1.0.7 测量精度应以中误差衡量。极限误差(简称限差)规定为中误差的 2 倍。

1.0.8 测量记录、计算成果和图表,应书写清楚、签署完善,并应复核和检算,未经复核和检算的资料严禁使用。各种测量原始记录(包括电子记录)、计算成果和图表应妥善保存。

1.0.9 铁路工程测量工作必须认真贯彻安全生产的方针,结合各阶段工作的特点和具体情况,制定相应的安全生产措施。

1.0.10 测量仪器和工具应做好经常性的保养和维护工作,并定

期检校和检定。

1.0.11 铁路工程测量应积极采用新技术、新材料、新设备、新工艺。测量工作中采用本规范未涉及的新技术时,其测量精度指标不得低于本规范的要求。

1.0.12 铁路工程测量除应符合本规范外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 工程独立坐标系 independent coordinate system of engineering
为满足工程建设需要,以任意中央子午线和高程投影面进行投影而建立的平面直角坐标系。

2.1.2 2000 国家大地坐标系(CGCS2000) China Geodetic Coordinate System 2000(CGCS2000)

以 2000 国家参考椭球为基准面,包括海洋和大气整个地球的质量中心为原点的地心坐标系,是全球地心坐标系在我国的具体体现。

2.1.3 框架平面控制网(CP0) frame horizontal control network (CP0)

采用卫星定位测量方法建立的空间三维控制网,作为全线(段)的平面坐标框架基准。

2.1.4 基础平面控制网(CP I) basic horizontal control network (CP I)

在框架平面控制网(CP0)或国家高等级平面控制网的基础上,沿线路走向布设,采用卫星定位测量方法建立的平面控制网,为线路平面控制网(CP II)提供起闭的基准。

2.1.5 线路平面控制网(CP II) route horizontal control network (CP II)

在基础平面控制网(CP I)基础上沿线路走向布设,为勘测、施工阶段的线路测量和轨道控制网(CP III)测量提供平面起闭的基准。

2.1.6 轨道控制网(CPⅢ) track control network(CPⅢ)

沿线路布设的三维控制网,平面起闭于基础平面控制网(CPⅠ)或线路平面控制网(CPⅡ),高程起闭于线路水准基点,是轨道施工和运营维护的基准。

2.1.7 三角形网 triangular network

由一系列相连的三角形构成的测量控制网,是三角网、三边网、边角网的统称。

2.1.8 隧道二等导线 tunnel second-order traverse

测角精度介于二等和三等之间的导线,是隧道洞内导线控制测量的一种等级。

2.1.9 精密水准测量 precise leveling

测量精度介于二等、三等水准测量之间的等级水准测量。

2.1.10 工点地形图 topographic map of construction site

为桥梁、涵洞、隧道、路基和站场等工程设计提供的局部大比例尺地形图。

2.1.11 中线测量 center line survey

将设计的铁路中心线测设到地面的工作。

2.1.12 中桩高程测量 center-line stake leveling

以线路水准点为基准,测定中线桩处的地面高程或既有线的轨顶高程,也称中桩水准或中平。

2.1.13 洞外控制测量 control survey outside tunnel

为满足隧道施工测量要求,在隧道洞外进行的全隧道范围的平面、高程控制测量。

2.1.14 洞内控制测量 control survey inside tunnel

为满足隧道施工测量要求,在隧道洞内进行的平面、高程控制测量。

2.1.15 竖井联系测量 shafts connection survey

隧道施工测量中,将洞外控制网的坐标、方向和高程通过竖井传递到洞内的测量。

2.1.16 贯通误差 through error

隧道贯通时,在贯通面处的纵向、横向和高程的误差。

2.1.17 水文测量 hydrological survey

与水文相关的测量,如水位、水文断面、水坡等的测量。

2.1.18 桥梁墩台定位 location of pier and abutment

桥墩、桥台中心位置的定位放样测量。

2.1.19 变形测量 deformation observation

在铁路建设和运营阶段,对路基、桥梁、涵洞、隧道和轨道等构筑物的水平位移、垂直位移或沉降、倾斜等位移量进行定期或持续的测量。

2.1.20 卫星定位测量 Global Navigation Satellite System survey

利用两台及以上卫星定位接收机同时接收全球导航卫星系统信号,确定地面点相对位置的测量方法,简称“GNSS 测量”。

2.1.21 卫星定位实时差分动态测量 GNSS real-time differential kinematic survey

以全球导航卫星系统(GNSS)载波相位观测量为依据的实时差分测量技术,简称“GNSS RTK 测量”。

2.1.22 自由测站边角交会测量 side-angle resection at free station survey

在任一点上架设全站仪,对布设在线路两侧的控制点进行距离、水平方向和竖直角度的观测,构成边角交会网形的测量方法。

2.1.23 全站仪自由设站测量 free station positioning by total-station

在任一点上架设全站仪,对线路两侧的已知控制点进行距离、水平方向和竖直角度的观测,测定设站点坐标、高程及方位的测量方法。

2.2 符 号

DS₀₅、DS₁、DS₃——水准仪等级

C ——照准差
 D ——测距边长度
 σ ——GNSS 测量基线长度中误差
 m_D ——测距中误差
 m_β ——测角中误差
 m_γ ——方向测量中误差
 m_α ——方位角中误差
 W ——闭合差
 f_β ——附和导线或闭合导线角度闭合差
 n ——连续自然数的一个数值
 L ——导线或水准路线长度
 M_Δ ——每千米水准测量的偶然中误差
 M_w ——每千米水准测量的全中误差
 N ——导线或水准附和路线或闭合环的个数
 R ——地球平均曲率半径
 P ——观测值的权
 S ——边长、斜距
 H_m ——平均高程
 h ——高差

3 平面控制测量

3.1 一般规定

3.1.1 铁路工程平面控制网包括线路工程控制网、桥梁和隧道等工程的施工控制网,可采用卫星定位测量、导线测量和三角形网测量等方法进行施测。

3.1.2 平面控制网精度等级:卫星定位测量依次为特等、一等、二等、三等、四等、五等;导线测量依次为二等、隧道二等、三等、四等和一级、二级;三角形网测量依次为二等、三等、四等。

3.1.3 平面控制网布设应遵循因地制宜、技术经济合理、确保质量的原则,并应符合下列规定:

1 控制网等级应根据新建铁路轨道结构类型、列车设计行车速度、控制网的用途和精度要求合理确定。

2 与国家或地方坐标系统联测时,应进行联测方案设计。

3 增设或补设控制点可同精度内插。

3.1.4 铁路线路工程平面控制测量应按分级布设的原则建网。第一级为基础平面控制网(CP I),第二级为线路平面控制网(CP II),第三级为轨道控制网(CP III)。

3.1.5 CP I 控制网宜起闭于国家既有 GNSS 控制点。当国家既有 GNSS 控制点的位置和精度不能满足 CP I 控制网约束条件时,应施测框架控制网(CP0)。

3.1.6 同一铁路需建立不同等级平面控制网时,可分段分等级建立平面控制网,不同等级平面控制网的分段搭接处理应符合下列规定:

1 不同等级 CP I 控制网的搭接应以 CP0 或国家控制点为

搭接分界点。低等级的 CP I 控制网应以搭接处的 2 个及以上高等级的 CP I 控制点作为约束点参与平差。

2 不同等级 CP II 控制网搭接平差时,低等级的 CP II 控制网应以搭接处的 2 个及以上高等级 CP II 控制点作为约束点参与平差。

3 不同等级 CP III 控制网搭接平差时,低等级的 CP III 控制网应以搭接处的高等级 CP III 点作为约束点参与平差。

3.2 卫星定位测量

3.2.1 卫星定位测量应符合现行《铁路工程卫星定位测量规范》TB 10054 中的有关规定。卫星定位测量控制网的等级划分及主要技术指标应符合表 3.2.1 的规定。

表 3.2.1 卫星定位测量控制网的主要技术要求

等级	固定 误差 a (mm)	比例误差 系数 b (mm/km)	基线边方位角 中误差 ($''$)	约束点精度		约束平差后 最弱边边长 相对中误差
				方位角精度 ($''$)	边长相对 精度	
特等	≤ 5	≤ 0.5	—	—	—	1/2 000 000
一等	≤ 5	≤ 1	1.0	0.6	1/500 000	1/250 000
二等	≤ 5	≤ 2	1.3	1.0	1/250 000	1/180 000
三等	≤ 5	≤ 3	1.7	1.3	1/180 000	1/100 000
四等	≤ 6	≤ 4	2.0	1.7	1/100 000	1/70 000
五等	≤ 10	≤ 5	3.0	2.0	1/70 000	1/40 000

注:当基线长度短于 500 m 时,一等、二等、三等边长中误差应小于 5 mm,四等边长中误差应小于 7.5 mm,五等边长中误差应小于 10 mm。

3.2.2 各等级控制网相邻点间基线长度中误差应按下式计算:

$$\sigma = \pm \sqrt{a^2 + (b \cdot d)^2} \quad (3.2.2)$$

式中 σ ——基线长度中误差(mm);

a ——固定误差(mm);

b ——比例误差系数(mm/km)；

d ——相邻点间距离(km)。

3.2.3 卫星定位测量控制网设计应符合下列规定：

1 控制网应根据设计目的、预期精度、作业时卫星的可见性、成果的可靠性和参加作业的接收机台数等条件进行设计。

2 控制网应由一个或若干个独立观测环构成。各等级控制网同步图形之间的连接应采用边联式或网联式。特等、一等、二等、三等、四等控制网应布设成三角形网或大地四边形网；五等控制网可采用闭合环、附合路线或者包括这些布网形式的混合网。

3 首级控制网宜与高等级的国家控制点联测，联测点总数不宜少于3个，特殊困难条件下不应少于2个。需要提供控制点的正常高时，应适当进行高程联测。

3.2.4 卫星定位测量作业的基本技术要求应符合表 3.2.4 的规定。

表 3.2.4 卫星定位测量作业的基本技术要求

项 目		等 级					
		特等	一等	二等	三等	四等	五等
接收机类型		双频	双频	双频	双频	双频/ 单频	双频/ 单频
仪器标称精度		5 mm+ $1 \times 10^{-6}d$	5 mm+ $1 \times 10^{-6}d$	5 mm+ $1 \times 10^{-6}d$	5 mm+ $1 \times 10^{-6}d$	5 mm+ $2 \times 10^{-6}d$	10 mm+ $5 \times 10^{-6}d$
静态 测量	卫星截止高度角(°)	≥15	≥15	≥15	≥15	≥15	≥15
	同时观测有效卫星数	≥4	≥4	≥4	≥4	≥4	≥4
	时段长度(min)	≥300	≥120	≥90	≥60	≥45	≥40
	观测时段数	≥4	≥2	≥2	≥1	≥1	≥1
	数据采样间隔(s)	30	10~20	10~20	10~20	10~20	10~20
	PDOP 或 GDOP	≤6	≤6	≤6	≤8	≤10	≤10

续表 3.2.4

项 目 \ 等 级		等 级					
		特等	一等	二等	三等	四等	五等
快速静态测量	卫星截止高度角(°)	—	—	—	—	≥15	≥15
	有效卫星总数	—	—	—	—	≥5	≥5
	观测时间(min)	—	—	—	—	10~20	10~20
	平均重复设站数	—	—	—	—	≥1.5	≥1.5
	数据采样间隔(s)	—	—	—	—	5~15	5~15
	PDOP(GDOP)	—	—	—	—	≤7(8)	≤7(8)

注:1 d 为基线长度(km)。

2 平均重复设站数≥1.5 是指至少有 50% 的点设站 2 次。

3.2.5 基线向量解算应符合现行《铁路工程卫星定位测量规范》TB 10054 中的有关规定。一等、二等、三等、四等、五等控制网的基线解算质量应符合表 3.2.5 的规定。

表 3.2.5 基线质量检验限差

检验项目	限差要求			
	X 坐标分量 闭合差	Y 坐标分量 闭合差	Z 坐标分量 闭合差	环线全长 闭合差
独立环 (附合路线)	$W_x \leq 2\sqrt{n}\sigma$	$W_y \leq 2\sqrt{n}\sigma$	$W_z \leq 2\sqrt{n}\sigma$	$W \leq 2\sqrt{3n}\sigma$
重复观测基线 长度较差	$d_s \leq 2\sqrt{2}\sigma$			

注:1 σ 为相应等级规定的基线长度中误差, n 为闭合环边数。

2 当环由长短悬殊的边组成时,宜按边长和等级规定的精度计算每条边的 σ , 并计算环闭合差的精度,以代替表中的 $\sqrt{n}\sigma$ 计算环闭合差的限差。

3.2.6 基线向量检核符合要求后,应以三维基线向量及其方差—协方差阵作为观测信息,以一个点的 CGCS2000 大地坐标系或 ITRF 坐标框架或 WGS-84 坐标系的三维坐标为起算数据,进行三维无约束平差,并提供空间直角坐标、基线向量及其改正数和精

度信息。

无约束平差的基线向量改正数绝对值应满足下式要求：

$$\begin{aligned} V_{\Delta X} &\leq 3\sigma \\ V_{\Delta Y} &\leq 3\sigma \\ V_{\Delta Z} &\leq 3\sigma \end{aligned} \quad (3.2.6)$$

σ 按式(3.2.2)计算,其中 a 、 b 应符合表 3.2.1 中相应等级规定, d 取各时段基线长度平均值(以 km 为单位计算)。

3.2.7 三维无约束平差后,应对控制网进行三维约束平差或二维约束平差。各等级控制网约束点间的相对精度及约束平差后最弱边边长相对中误差、基线边方位角中误差应满足本规范表 3.2.1 的规定。

3.3 导线测量

3.3.1 控制测量导线可布设成附和导线、闭合导线或导线网。

3.3.2 各等级导线测量的主要技术要求应符合表 3.3.2 的规定。

表 3.3.2 导线测量的主要技术要求

等级	测角中误差(″)	测距相对中误差	方位角闭合差(″)	导线全长相对闭合差	测回数			
					0.5″级仪器	1″级仪器	2″级仪器	6″级仪器
二等	1	1/250 000	$\pm 2\sqrt{n}$	1/100 000	6	9	—	—
隧道二等	1.3	1/200 000	$\pm 2.6\sqrt{n}$	1/100 000	6	9	—	—
三等	1.8	1/150 000	$\pm 3.6\sqrt{n}$	1/55 000	4	6	10	—
四等	2.5	1/100 000	$\pm 5\sqrt{n}$	1/40 000	3	4	6	—
一级	4	1/50 000	$\pm 8\sqrt{n}$	1/20 000	—	2	2	—
二级	7.5	1/25 000	$\pm 15\sqrt{n}$	1/10 000	—	—	1	2

注:1 n 为测站测角个数。

- 2 当边长短于 500 m 时,二等和隧道二等边长中误差应小于 2.5 mm,三等边长中误差应小于 3 mm,四等、一级边长中误差应小于 5 mm,二级边长中误差应小于 7.5 mm。

3.3.3 导线相邻边长不宜相差过大,相邻边长之比不宜超过1:3。

3.3.4 导线测量使用的仪器应在有效检定期内,并符合本规范附录A的规定。

3.3.5 水平角观测宜采用方向观测法,并符合下列规定:

1 水平角方向观测法的主要技术要求应符合表3.3.5的规定。

表 3.3.5 水平角方向观测法的主要技术要求

等级	仪器等级	半测回归零差 ($''$)	一测回内各方向 2C互差($''$)	同一方向值各测 回较差($''$)
四等 及以上	0.5 $''$ 级仪器	4	8	4
	1 $''$ 级仪器	6	9	6
	2 $''$ 级仪器	8	13	9
一级 及以下	1 $''$ 级仪器	8	13	9
	2 $''$ 级仪器	12	18	12
	6 $''$ 级仪器	18	—	24

注:当观测方向的垂直角超过 $\pm 3^\circ$ 的范围时,该方向2C互差可按各测回同方向进行比较,其值应满足表中一测回内各方向2C互差的限值。

2 当观测方向数为3个及以上时,应归零。

3 水平角观测应符合下列要求:

- 1) 各测回间应均匀配置度盘,采用全站仪时不受此限制。
- 2) 观测应在通视良好、成像清晰稳定时进行。
- 3) 观测过程中,气泡中心位置偏离值不得超过1格;四等及以上等级的水平角观测,当观测方向的垂直角超过 $\pm 3^\circ$ 的范围时,宜在测回间重新整平。有垂直轴补偿器的仪器不受此限制。

3.3.6 水平角观测误差超限时,应进行重测,并应符合下列规定:

1 一测回内2C互差或同一方向值各测回较差超限时,应重

测超限方向,并联测零方向。

2 下半测回归零差或零方向的 2C 互差超限时,应重测该测回。

3 若一测回中重测方向数超过总方向数的 1/3 时,应重测该测回。当重测的测回数超过总测回数的 1/3 时,应重测该测站。

3.3.7 当导线网的闭合环和附和路线总数 ≥ 20 个时,应按下式计算水平角观测的测角中误差:

$$m_{\beta} = \sqrt{\frac{1}{N} \left[\frac{f_{\beta} f_{\beta}}{n} \right]} \quad (3.3.7)$$

式中 m_{β} ——测角中误差(");

f_{β} ——导线环角度闭合差或附和导线的方位角闭合差(");

N ——导线环及附和导线的个数;

n ——计算 f_{β} 时的角度个数。

3.3.8 边长测量应采用全站仪观测,测距仪器精度等级按表 3.3.8 划分。

表 3.3.8 测距仪器精度分级

精度等级	测距标准偏差
I	$m_d \leq 1 \text{ mm} + 1 \times 10^{-6} D$
II	$1 \text{ mm} + 1 \times 10^{-6} D < m_d \leq 3 \text{ mm} + 2 \times 10^{-6} D$
III	$3 \text{ mm} + 2 \times 10^{-6} D < m_d \leq 5 \text{ mm} + 5 \times 10^{-6} D$
IV	$5 \text{ mm} + 5 \times 10^{-6} D < m_d \leq 10 \text{ mm} + 10 \times 10^{-6} D$

3.3.9 边长测量应符合下列规定:

1 边长测量的技术要求应符合表 3.3.9—1 的规定。

表 3.3.9—1 边长测量技术要求

等级	测距仪器精度等级	每边测回数		一测回读数较差(mm)	测回间较差(mm)
		往测	返测		
二等、 隧道二等	I	4	4	2	3
	II			5	7

续表 3.3.9—1

等 级	测距仪器 精度等级	每边测回数		一测回读数 较差(mm)	测回间较差 (mm)
		往测	返测		
三等	I	2	2	2	3
	II	4	4	5	7
四等	I	2	2	2	3
	II			5	7
	III	4	4	10	15
一级及以下	I	1	1	2	—
	II			5	—
	III	2	2	10	15
	IV			20	30

注：一测回是指全站仪盘左、盘右各测量一次。

2 边长往返观测平距较差应小于本规范表 3.3.2 中相应等级导线测距中误差的 2 倍。

3 测距边的斜距应进行气象改正和仪器常数改正。气压、气温观测应符合下列规定：

- 1) 三等及以上等级测量应在测站和反射镜站分别测记。
- 2) 四等及以下等级可在测站进行测记，当测边两端气象条件差异较大时，应在测站和反射镜站分别测记，取两端平均值进行气象改正。
- 3) 当测区平坦、气象条件差异不大时，四等及以下等级可记录上午和下午的平均气压、气温。
- 4) 气压、气温读数精度应符合表 3.3.9—2 的规定。

表 3.3.9—2 气压、气温读数精度要求

测量等级	干湿温度表(°C)	气压表(hPa)
二等(含隧道二等)	0.2	0.5
三等	0.2	0.5

续表 3.3.9—2

测量等级	干湿温度表(°C)	气压表(hPa)
四等	0.5	1
一级及以下	1	2

3.3.10 水平距离计算应符合下列规定：

1 测量的斜距须经气象改正和仪器的加、乘常数改正后才能进行水平距离计算。

2 水平距离宜按下式计算：

$$D_p = S \cdot \cos(\alpha + f) \quad (3.3.10)$$

其中
$$f = (1 - k) \frac{S \cdot \cos \alpha}{2R_m} \rho$$

式中 D_p ——测距边的水平距离(m)；

S ——经气象及加、乘常数等改正后的斜距(m)；

α ——垂直角观测值；

f ——地球曲率与大气折光对垂直角影响的改正值；

k ——当地的大气折光系数；

ρ ——常数，为 206 265''；

R_m ——地球平均曲率半径(m)。

3.3.11 测距边的精度评定应按下列公式计算：

1 单位权中误差

$$\mu = \sqrt{\frac{[Pdd]}{2n}} \quad (3.3.11-1)$$

式中 μ ——单位权中误差(mm)；

d ——各边往返距离的较差(mm)；

n ——测距的边数；

P ——各边距离测量的先验权，其值为 $1/\sigma_D^2$ ， σ_D 为测距的先验中误差，可按测距仪的标称精度计算。

2 任一边的实际测距中误差

$$m_{D_i} = \mu \sqrt{\frac{1}{P_i}} \quad (3.3.11-2)$$

式中 m_{D_i} ——第 i 边的实际测距中误差(mm);

P_i ——第 i 边距离测量的先验权。

3.3.12 导线测量观测记录、成果计算和整理应符合下列规定:

1 观测工作结束后,应及时整理和检查外业观测手簿或外业电子记录数据,确认观测成果全部符合规定后,方可进行计算。

2 测距边长的归化投影计算应符合下列规定:

1) 归算到工程独立坐标系投影高程面上的测距边长度,应按下式计算:

$$D_1 = D_0 \left(1 + \frac{H_0 - H_m}{R_A} \right) \quad (3.3.12-1)$$

式中 D_1 ——归算到投影高程面上的测距边长度(m);

D_0 ——测距边两端平均高程面上的平距(m);

H_0 ——工程独立坐标系投影面高程(m);

H_m ——测距边两端点的平均高程(m);

R_A ——参考椭球体在测距边方向的法截弧曲率半径(m)。

2) 测距边在高斯投影面上的长度,应按下式计算:

$$D_2 = D_1 \left(1 + \frac{Y_m^2}{2R_m^2} + \frac{\Delta y^2}{24R_m^2} \right) \quad (3.3.12-2)$$

式中 D_2 ——测距边在高斯投影面上的长度(m);

Y_m ——测距边中点至中央子午线的距离(m);

Δy ——测距边两端点横坐标增量(m);

R_m ——测距边中点处在参考椭球面上的平均曲率半径(m)。

3.3.13 导线网计算应在方位角闭合差及导线全长相对闭合差满足要求后,采用严密平差法平差。边角定权可采用常规方法或方差分量估计法定权,并提供单位权中误差、测角中误差、点位中误差、边长相对中误差、点位误差椭圆参数和相对点位误差椭圆参数等精度信息。

3.4 三角形网测量

3.4.1 三角形网测量的等级划分及主要技术要求应符合表 3.4.1 的规定。

表 3.4.1 三角形网测量的主要技术要求

等级	测角中误差(″)	三角形最大闭合差(″)	测边相对中误差	最弱边边长相对中误差	测回数		
					0.5″级仪器	1″级仪器	2″级仪器
二等	1.0	3.5	1/250 000	1/120 000	6	9	—
三等	1.8	7.0	1/150 000	1/70 000	4	6	9
四等	2.5	9.0	1/100 000	1/40 000	2	4	6

3.4.2 三角形网中的角度和边长可根据需要选择部分观测或全部观测。

3.4.3 三角形网水平角观测,应符合本规范第 3.3.5 条、第 3.3.6 条和第 3.4.1 条的规定。

3.4.4 三角形网的边长测量应符合本规范第 3.3.9 条和第 3.4.1 条的规定。

3.4.5 外业工作完成后,经各种归算后的观测值,应按三角形网的各种几何条件,检查观测成果质量。三角形网闭合差限值应符合本规范表 3.4.1 的规定。

3.4.6 当三角形个数 ≥ 20 个时,应按下列公式计算三角形网角度测量中误差和方向测量中误差:

$$m_{\beta} = \sqrt{\frac{[WW]}{3n}} \quad (3.4.6-1)$$

$$m_{\gamma} = m_{\beta} / \sqrt{2} \quad (3.4.6-2)$$

式中 m_{β} ——角度测量中误差(″);
 m_{γ} ——方向测量中误差(″);
 W ——三角形内角和闭合差(″);

n ——三角形个数。

3.4.7 三角形网平差时,观测方向和观测边均应作为观测值参与平差,方向测量的先验中误差按本规范第 3.4.6 条的方法计算;距离的先验中误差按测距仪的标称精度或本规范第 3.3.11 条的方法计算;也可采用数理统计方法求得的经验公式估算方向和距离的先验中误差,并用以计算方向及边长的权。

3.4.8 三角形网严密平差后应提供单位权中误差、点位误差椭圆参数和相对点位误差椭圆参数、边长相对中误差和测角中误差或方向中误差等精度信息。

3.5 框架控制网(CP0)测量

3.5.1 CP0 控制网应在初测前采用 GNSS 测量方法建立,按本规范第 3.2 节中特等网要求施测。全线一次性布网,统一测量,整体平差。

3.5.2 CP0 控制点应沿线路走向每 50 km 左右布设一个点,在线路起点、终点或与其他线路衔接地段,应至少有 1 个 CP0 控制点。

3.5.3 CP0 控制点标石选埋应符合下列规定:

1 控制点应设在适合 GNSS 观测作业的地点,周围 200 m 范围内不得有强电磁干扰源或强电磁反射源,点位距离线路中线不宜大于 10 km。

2 控制点标石应设在基础稳定,不受施工和其他人为活动的干扰,且必须能够长期保存的地点。标石规格和埋设标准按本规范附录 B 的要求执行。

3 标石埋设完成后,应按本规范附录 C 的要求做好点之记。新埋标石应办理测量标志委托保管书,一式二份,标石保管单位或个人和测量单位各存一份。

3.5.4 CP0 构网联测应符合下列规定:

1 CP0 控制网应与 IGS 参考站或国家 A、B 级 GNSS 点联测。全线联测的已知站点数不应少于 2 个,且在网中均匀分布。

2 每个 CP0 控制点与相邻点连接数不得小于 3;IGS 参考站

或国家 A、B 级 GNSS 点与其相邻的 CP0 连接数不得小于 2。

3.5.5 CP0 观测应符合下列规定：

1 应使用标称精度不低于 $5\text{ mm} + 1 \times 10^{-6} d$ 的双频 GNSS 接收机，同步观测的 GNSS 接收机不应少于 3 台。

2 各项技术要求应符合本规范第 3.2.4 条中特等网的有关规定。

3 观测时段分布宜昼夜均匀，夜间观测时段数不应少于 1 个。每个观测时段不宜跨越世界协调时 0 点(北京时间早 8 点)。

4 天线对中误差不应大于 1 mm。天线高应在测前和测后各量取一次，每次应在相同的位置从天线三个不同方向(间隔 120°)量取，或用接收机天线专用量高器量取。单次天线高重复量取的读数互差不超过 $\pm 2\text{ mm}$ 时，取平均值；测前和测后天线高观测值读数互差不超过 $\pm 3\text{ mm}$ 时，取平均值作为天线高最终观测值。

5 同一时段的观测过程中不得关闭并重新启动仪器，不得改变仪器的参数设置，不得转动天线位置。

6 观测过程中若遇强雷雨、风暴天气，应立刻停止当前观测时段的作业。

3.5.6 CP0 数据处理应采用高精度的 GNSS 数据处理专用软件。

3.5.7 CP0 基线向量解算应符合下列规定：

1 基线向量应采用精密星历进行基线解算。

2 同一时段观测值的数据剔除率不宜大于 10%。

3 应采用多基线解算模式进行基线解算，计算结果应包括基线向量的各坐标分量及其协方差阵等平差所需的元素。

4 基线向量解算引入的起算点坐标位置基准应为国际地球参考框架(ITRF)中的坐标成果，该坐标框架应与采用的精密星历坐标框架保持一致。起算点选用联测的 IGS 参考站或国家 A、B 级 GNSS 点。

3.5.8 基线解算完成后，应按下列规定进行 CP0 控制网基线处理结果质量检核：

1 同一基线不同时期的基线向量各分量及边长较差应满足下式要求:

$$\begin{aligned}d_{\Delta X} &\leq 2\sqrt{2}R_{\Delta X} \\d_{\Delta Y} &\leq 2\sqrt{2}R_{\Delta Y} \\d_{\Delta Z} &\leq 2\sqrt{2}R_{\Delta Z} \\d_S &\leq 2\sqrt{2}R_S\end{aligned}\quad (3.5.8-1)$$

R 按下式计算:

$$R = \left[\frac{\frac{n}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{(C_i - C_m)^2}{\sigma_{C_i}^2}}{\sum_{i=1}^n 1/\sigma_{C_i}^2} \right]^{1/2}$$

式中 n ——同一基线重复观测的总时段数;

i ——时段号;

C_i —— i 时段基线的某一坐标分量或边长;

C_m ——各时段基线的某一坐标分量或边长加权平均值;

σ_{C_i} ——相应于 i 时段基线的某一坐标分量或边长的方差。

2 基线向量的独立(异步)闭合环或附合线路的各坐标分量闭合差(W_x 、 W_y 、 W_z)应满足下式要求:

$$\begin{aligned}W_x &\leq 2\sigma_{W_x} \\W_y &\leq 2\sigma_{W_y} \\W_z &\leq 2\sigma_{W_z}\end{aligned}\quad (3.5.8-2)$$

其中

$$\begin{aligned}\sigma_{W_x} &= \left(\sum_{j=1}^r \sigma_{\Delta x(j)}^2 \right)^{1/2} \\ \sigma_{W_y} &= \left(\sum_{j=1}^r \sigma_{\Delta y(j)}^2 \right)^{1/2} \\ \sigma_{W_z} &= \left(\sum_{j=1}^r \sigma_{\Delta z(j)}^2 \right)^{1/2}\end{aligned}$$

式中 j ——闭合环(线)中第 j 条基线;

r ——闭合环(线)基线数;

$\sigma_{C(j)}$ ——第 j 条基线 $C(C=\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$ 分量的方差。

环线全长闭合差(W)应满足下式要求:

$$W \leq 2\sigma_w \quad (3.5.8-3)$$

其中

$$\sigma_w = \left(\sum_{j=1}^r W D_j W^T \right)^{1/2}$$

$$W = \begin{bmatrix} W_x & W_y & W_z \\ W_s & W_s & W_s \end{bmatrix}$$

$$W_s = \sqrt{W_x^2 + W_y^2 + W_z^2}$$

式中 D_j ——闭合环(线)中第 j 条基线的方差—协方差阵。

3.5.9 CP0 网平差应符合下列规定:

1 无约束平差的基线向量改正数绝对值应满足本规范式(3.2.6)的要求。

2 约束平差前,应进行外部数据处理质量检核。联测站点的已知坐标成果与无约束平差成果间差值的绝对值应小于 0.2 m,且由此计算的基线长度相对误差应小于 $0.3 \times D \times 10^{-6}$ 。

3 整体约束平差所采用的约束点应为 IGS 参考站或国家 A、B 级 GNSS 点的 CGCS2000 大地坐标系成果。

4 整体约束平差的基线向量改正数与无约束平差同一基线改正数较差的绝对值应满足下式要求:

$$\begin{aligned} dV_{\Delta X} &\leq 2\sigma \\ dV_{\Delta Y} &\leq 2\sigma \\ dV_{\Delta Z} &\leq 2\sigma \end{aligned} \quad (3.5.9)$$

5 无约束平差应输出 ITRF 国际地球参考框架下各点的三维坐标、基线向量平差值及其改正数、基线坐标分量和精度信息。

6 整体约束平差应输出 CGCS2000 大地坐标系中各点的地

心坐标、大地坐标、基线向量平差值及其改正数、基线坐标分量和精度信息。

3.5.10 CP0 复测的方法和精度应与原测相同。CP0 复测成果转换为平面坐标后与原测成果的 x 、 y 坐标较差限差为 ± 20 mm, 当较差满足限差要求时, 采用原测成果, 否则应按同精度内插方法更新坐标成果。

3.6 基础平面控制网(CPI)测量

3.6.1 CPI 控制网宜在初测阶段建立, 困难时可在定测前完成。CPI 控制网采用 GNSS 测量方法施测, 测量等级应符合表 3.6.1 的规定。

表 3.6.1 基础平面控制网(CPI)测量等级

铁路类型	轨道结构	列车设计速度 V	测量等级
客货共线铁路、重载铁路	无砟	$120 \text{ km/h} < V \leq 200 \text{ km/h}$	二等
		$V \leq 120 \text{ km/h}$	三等
	有砟	$120 \text{ km/h} < V \leq 200 \text{ km/h}$	三等
		$V \leq 120 \text{ km/h}$	四等
城际铁路	无砟	$V = 160 \text{ km/h}, V = 200 \text{ km/h}$	二等
		$V = 120 \text{ km/h}$	三等
	有砟	$V = 160 \text{ km/h}, V = 200 \text{ km/h}$	三等
		$V = 120 \text{ km/h}$	四等

3.6.2 CPI 控制点应沿线路走向布设, 2 km 布设一个点或 4 km 布设一对点(点对间距不宜小于 800 m)。测量工作开展前, 应根据测区地形、地貌及线路工程情况进行平面控制网设计。平面控制网设计应包括控制网基准、网形、精度和测量方法等。

3.6.3 CPI 控制点宜设在距线路中心 50 m~1 000 m 范围内不

易被破坏、稳定可靠、便于测量的地方。点位附近不应有强烈干扰接收卫星信号的干扰源或强烈反射卫星信号的物体。点位布设宜兼顾沿线桥梁、隧道及其他大型构(建)筑物布设施工控制网的要求,并按本规范附录 B 的要求埋石。标石埋设完成后,应按本规范附录 C 的要求做好点之记。

3.6.4 CP I 控制网应采用边联结方式构网,形成三角形或四边形组成的带状网。全线(段)宜一次布网,整体平差。

3.6.5 CP I 控制网应起闭于国家高等级平面控制点或 CP0 控制点,每 50 km 宜联测一个高等级平面控制点,全线联测高等级平面控制点的总数不宜少于 3 个。在与其他铁路交叉或连接处,CP I 控制网应与其平面控制点联测,联测控制点的个数不应少于 2 个。CP I 控制网宜与附近的已知水准点联测。

3.6.6 CP I 控制网外业观测和基线向量解算应符合本规范第 3.2 节的有关规定。

3.6.7 CP I 控制网平差及坐标转换应符合下列规定:

1 CP I 控制网平差宜采用三维约束平差,并符合本规范第 3.2.6 条、第 3.2.7 条的有关规定。

2 三维约束平差后,应根据独立坐标系投影带的划分,将 CP I 控制网的空间直角坐标分别投影到相应的平面坐标投影带中,计算 CP I 控制点的工程独立坐标。

3 转换到国家或城市平面坐标系时,应以联测的国家或城市平面控制点作为固定点进行 CP I 控制网的二维约束平差,计算 CP I 控制点的国家或城市平面坐标。

3.7 线路平面控制网(CP II)测量

3.7.1 CP II 控制网宜在定测阶段完成,采用 GNSS 测量或导线测量方法施测,测量等级应符合表 3.7.1 的规定。

表 3.7.1 线路平面控制网(CP II)测量等级

铁路类型	轨道结构	列车设计速度 V	测量方法	测量等级
客货共线铁路、 重载铁路	无砟	$120 \text{ km/h} < V \leq 200 \text{ km/h}$	GNSS/导线	三等
		$V \leq 120 \text{ km/h}$	GNSS/导线	四等
	有砟	$120 \text{ km/h} < V \leq 200 \text{ km/h}$	GNSS/导线	四等
		$V \leq 120 \text{ km/h}$	GNSS	五等
			导线	一级
城际铁路	无砟	$V=160 \text{ km/h}, V=200 \text{ km/h}$	GNSS/导线	三等
		$V=120 \text{ km/h}$	GNSS/导线	四等
	有砟	$V=160 \text{ km/h}, V=200 \text{ km/h}$	GNSS/导线	四等
		$V=120 \text{ km/h}$	GNSS	五等
			导线	一级

3.7.2 CP II 控制点应沿线路布设,每 400 m~800 m 布设一个点。控制点宜设在距线路中心 50 m~200 m 范围内不易被破坏、稳定可靠、便于测量的地方,并按本规范附录 B 的要求埋石。标石埋设完成后,应按本规范附录 C 的要求做好点之记。

3.7.3 在与其他铁路交叉或连接处,CP II 控制网应与其平面控制点联测,联测控制点的个数不应少于 2 个。

3.7.4 CP II 控制网采用 GNSS 测量时应符合下列规定:

1 CP II 控制点附近不应有强烈干扰接收卫星信号的干扰源或强烈反射卫星信号的物体。

2 相邻 CP II 控制点之间应通视,困难地区至少有一个通视点,以满足施工测量的需要。

3 CP II 控制网应与 CP I 控制点联测构成附合网。

4 CP II 控制网外业观测和基线向量解算应符合本规范第 3.2 节的有关规定。

5 CP II 控制网应以联测的 CP I 控制点作为约束点进行平差,CP II 控制网平差应符合本规范第 3.2.6 条、第 3.2.7 条的有

关规定。

3.7.5 CP II 控制网采用导线测量时应满足下列要求：

1 导线测量应起闭于 CP I 控制点，附合长度不应大于 5 km。当附合导线长度超过规定时，应布设成结点网形。结点与结点、结点与高级控制点之间的导线长度不应大于规定长度的 0.7 倍。

2 CP II 导线测量和数据处理应符合本规范第 3.3 节的相关规定。

3.8 隧道洞内 CP II 测量

3.8.1 长度大于 800 m 的隧道贯通后，应在隧道内测设 CP II 控制网。洞内 CP II 控制网可采用导线或自由测站边角交会方法施测。

3.8.2 洞内 CP II 导线测量应符合表 3.8.2—1 和表 3.8.2—2 的规定。

表 3.8.2—1 洞内 CP II 导线测量等级

轨道结构	列车设计速度 V	隧道长度 L (km)	测量等级	备注
无砟	$120 \text{ km/h} < V \leq 200 \text{ km/h}$	$L > 6$	隧道二等	导线网
		$2 < L \leq 6$	三等	导线网
		$L \leq 2$	三等	单导线
	$V \leq 120 \text{ km/h}$	$L > 6$	三等	导线网
		$2 < L \leq 6$	四等	导线网
		$L \leq 2$	四等	单导线
有砟	$120 \text{ km/h} < V \leq 200 \text{ km/h}$	$L > 6$	三等	导线网
		$2 < L \leq 6$	四等	导线网
		$L \leq 2$	四等	单导线
	$V \leq 120 \text{ km/h}$	$L > 6$	三等	导线网
		$2 < L \leq 6$	四等	导线网
		$L \leq 2$	一级	单导线

注：导线网独立闭合环的边数以 4~6 条边为宜。

表 3.8.2—2 洞内 CP II 导线测量主要技术要求

导线等级	边长 (m)	测距中误差 (mm)	测角中误差 (")	相邻点相对 点位中误差 (mm)	导线全长 相对闭合差	方位角 闭合差 (")
隧道二等	250~500	2.0	1.3	5.0	1/100 000	$\pm 2.6\sqrt{n}$
三等	250~500	3.0	1.8	7.5	1/55 000	$\pm 3.6\sqrt{n}$
四等	250~500	5.0	2.5	10.0	1/40 000	$\pm 5.0\sqrt{n}$
一级	250~500	5.0	4.0	10.0	1/20 000	$\pm 8.0\sqrt{n}$

注:对于小半径的单线隧道,导线边长可以适当缩短。

3.8.3 洞内 CP II 导线应与隧道洞内(或斜井内)施工控制导线点联测,并将施工导线点纳入洞内 CP II 导线网进行兼容性检查。当兼容性满足表 3.8.3 规定的精度要求时,宜将洞内施工导线控制点作为约束点并参与洞内 CP II 导线约束平差。

表 3.8.3 纳入洞内 CP II 约束平差的施工控制导线点兼容性要求

铁路类型	轨道结构	列车设计速度 V	精度要求
客货共线铁路、 重载铁路	无砟	120 km/h < V ≤ 200 km/h	三等
		V ≤ 120 km/h	四等
	有砟	120 km/h < V ≤ 200 km/h	四等
		V ≤ 120 km/h	一级
城际铁路	无砟	V = 160 km/h, V = 200 km/h	三等
		V = 120 km/h	四等
	有砟	V = 160 km/h, V = 200 km/h	四等
		V = 120 km/h	一级

3.8.4 隧道洞内 CP II 导线观测应满足下列要求:

1 应采用标称精度不低于 $1''$ 、 $2\text{ mm} + 2 \times 10^{-6} D$ 的全站仪施测。水平角观测的测回数及限差分别按本规范表 3.3.2 和表 3.3.5 的要求执行,边长测量应符合本规范第 3.3.9 条的要求。

2 观测前应将仪器开箱放置 20 min 左右,让仪器与洞内温度基本一致。

3 洞口测站观测宜在夜晚或阴天进行;隧道洞内观测应充分通风,无施工干扰,避免尘雾。

4 目标棱镜人工观测时应有足够的照明度,受光均匀柔和、目标清晰,避免光线从旁侧照射目标;采用自动观测时应尽量减少光源干扰。

3.8.5 隧道洞内 CP II 自由测站边角交会测量应符合下列规定:

1 CP II 控制点沿隧道宜按 200 m~300 m 间隔成点对布设,对于小半径的单线隧道,点间距可以适当缩短。CP II 控制点应采用强制对中标志,布设在隧道电缆槽顶面以上 30 cm~50 cm 的二衬边墙上。

2 洞内 CP II 控制网应与洞口控制点进行联测,可根据现场情况参照本规范附录 E.0.1 或附录 E.0.2 所示图形构网。

3.8.6 隧道洞内 CP II 自由测站边角交会测量仪器设备应满足下列要求:

1 使用的全站仪应具有自动目标搜索、自动照准、自动观测功能,标称精度不低于 $1''$ 、 $1\text{ mm}+2\times 10^{-6}D$ 。

2 观测前应对全站仪进行检校,作业期间仪器须在有效检定期内。边长观测应进行温度、气压等气象元素改正,温度读数精确至 $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,气压读数精确至 0.5 hPa 。

3.8.7 隧道洞内 CP II 自由测站边角交会测量应采用全站仪按全圆方向观测法自动观测方向和距离,并满足下列要求:

1 隧道洞内 CP II 自由测站边角交会网水平方向观测,应满足表 3.8.7—1 的规定。

表 3.8.7—1 洞内 CP II 自由测站边角交会网水平方向观测技术要求

仪器等级	测回数	半测回归零差 ($''$)	一测回内各方向 2C 互差($''$)	测回间同一方向归 零后方向值较差($''$)
0.5 $''$	3	4	8	4
1.0 $''$	4	6	9	6

2 隧道洞内 CP II 自由测站边角交会网距离测量,应满足表 3.8.7—2 的规定。

表 3.8.7—2 洞内 CP II 自由测站边角交会网距离观测技术要求

测回数	半测回间距离较差(mm)	测回间距离较差(mm)
≥3	≤1.5	≤1.5

注:距离测量一测回是全站仪盘左、盘右各测量一次的过程。

3.8.8 隧道洞内 CP II 自由测站边角交会网应附合在隧道进、出口 CP I 或 CP II 控制点上,方位角闭合差应满足表 3.8.8 的规定。

表 3.8.8 洞内 CP II 自由测站边角交会网方位角闭合差限差

铁路类型	轨道结构	列车设计速度 V	方位角闭合差限差(″)
客货共线铁路、重载铁路	无砟	120 km/h < V ≤ 200 km/h	≤ 3.6√n
		V ≤ 120 km/h	≤ 5.0√n
	有砟	120 km/h < V ≤ 200 km/h	≤ 5.0√n
		V ≤ 120 km/h	≤ 7.0√n
城际铁路	无砟	V = 160 km/h, V = 200 km/h	≤ 3.6√n
		V = 120 km/h	≤ 5.0√n
	有砟	V = 160 km/h, V = 200 km/h	≤ 5.0√n
		V = 120 km/h	≤ 7.0√n

注:n 为测站数。

3.8.9 洞内 CP II 自由测站边角交会网平差应满足下列要求:

1 自由网平差后应满足表 3.8.9—1 的规定。

表 3.8.9—1 洞内 CP II 自由测站边角交会网无约束平差技术要求

方向改正数(″)	距离改正数(mm)
≤3	≤4

2 约束网平差后应满足表 3.8.9—2 的规定。

表 3.8.9—2 洞内 CP II 自由测站边角交会网约束平差技术要求

铁路类型	轨道结构	列车设计速度 V	自由测站与已知点联测边		自由测站与洞内 CP II 点联测边	
			方向改正数(")	距离改正数(mm)	方向改正数(")	距离改正数(mm)
客货共线铁路、重载铁路	无砟	$120 \text{ km/h} < V \leq 200 \text{ km/h}$	≤ 4	≤ 6	≤ 3	≤ 4
		$V \leq 120 \text{ km/h}$	≤ 5	≤ 8	≤ 4	≤ 5
	有砟	$120 \text{ km/h} < V \leq 200 \text{ km/h}$	≤ 5	≤ 8	≤ 4	≤ 5
		$V \leq 120 \text{ km/h}$	≤ 7	≤ 10	≤ 5	≤ 8
城际铁路	无砟	$V=160 \text{ km/h}, V=200 \text{ km/h}$	≤ 4	≤ 6	≤ 3	≤ 4
		$V=120 \text{ km/h}$	≤ 5	≤ 8	≤ 4	≤ 5
	有砟	$V=160 \text{ km/h}, V=200 \text{ km/h}$	≤ 5	≤ 8	≤ 4	≤ 5
		$V=120 \text{ km/h}$	≤ 7	≤ 10	≤ 5	≤ 8

3.8.10 洞内 CP II 自由测站边角交会网平差后,其测距中误差、方向观测中误差和相邻点相对点位中误差,应满足表 3.8.10 的规定。

表 3.8.10 洞内 CP II 自由测站边角交会网主要技术要求

铁路类型	轨道结构	列车设计速度 V	测距中误差(mm)	方向观测中误差(")	相邻点相对点位中误差(mm)
客货共线铁路、重载铁路	无砟	$120 \text{ km/h} < V \leq 200 \text{ km/h}$	≤ 2.5	≤ 1.8	≤ 3.0
		$V \leq 120 \text{ km/h}$	≤ 3.5	≤ 2.5	≤ 4.0
	有砟	$120 \text{ km/h} < V \leq 200 \text{ km/h}$	≤ 3.5	≤ 2.5	≤ 4.0
		$V \leq 120 \text{ km/h}$	≤ 5.0	≤ 3.5	≤ 5.0
城际铁路	无砟	$V=160 \text{ km/h}, V=200 \text{ km/h}$	≤ 2.5	≤ 1.8	≤ 3.0
		$V=120 \text{ km/h}$	≤ 3.5	≤ 2.5	≤ 4.0
	有砟	$V=160 \text{ km/h}, V=200 \text{ km/h}$	≤ 3.5	≤ 2.5	≤ 4.0
		$V=120 \text{ km/h}$	≤ 5.0	≤ 3.5	≤ 5.0

3.8.11 当隧道洞内(含斜井附近)施工控制点保存完好时,洞内 CP II 自由测站边角交会网应与其联测。对于满足洞内 CP II 自由

测站边角交会网约束点精度要求的隧道洞内施工控制点,应作为约束点参与洞内 CP II 自由测站边角交会网约束平差。

3.9 轨道控制网(CP III)平面测量

3.9.1 CP III 控制网测量应在线下工程竣工后施测。对于无砟轨道及速度 200 km/h 有砟铁路,CP III 施测前应通过沉降变形评估。CP III 测量前应对全线的 CP I、CP II 控制网进行复测,并采用复测后合格的 CP I、CP II 成果进行 CP III 控制网测设。

3.9.2 CP III 平面建网前,应按本规范第 3.7 节的点位密度及测量精度在线上进行 CP II 控制网加密。

3.9.3 CP III 平面测量应附合于线上加密 CP II 控制点上,并按照规定采用自由测站边角交会法或导线法施测。

表 3.9.3 轨道控制网(CP III)测量方法

铁路类型	轨道结构	列车设计速度 V	测量方法	点间距
客货共线 铁路、 重载铁路	无砟	$V \leq 200$ km/h	自由测站边角交会	50 m~70 m 一对点
	有砟	160 km/h < $V \leq 200$ km/h	自由测站边角交会	50 m~70 m 一对点
		120 km/h < $V \leq 160$ km/h	自由测站边角交会	≤ 120 m 一对点(双线)
				50 m~70 m 一个点(单线)
		$V \leq 120$ km/h	自由测站边角交会	≤ 120 m 一对点(双线)
	50 m~70 m 一个点(单线)			
导线测量	120 m~150 m 一个点			
城际铁路	无砟	$V = 120$ km/h, $V = 160$ km/h, $V = 200$ km/h	自由测站边角交会	50 m~70 m 一对点
	有砟	$V = 200$ km/h	自由测站边角交会	50 m~70 m 一对点
		$V = 120$ km/h, $V = 160$ km/h	自由测站边角交会	≤ 120 m 一对点

3.9.4 CPⅢ自由测站边角交会测量应满足下列规定:

1 CPⅢ点应设置强制对中标志,标志连接件的加工误差不应大于 0.05 mm,CPⅢ棱镜组件的安装精度应满足表 3.9.4—1 的要求。

表 3.9.4—1 CPⅢ标志棱镜组件安装精度要求

CPⅢ标志	重复性安装误差(mm)	互换性安装误差(mm)
X	0.4	0.4
Y	0.4	0.4
H	0.2	0.2

2 CPⅢ标志按本规范附录 B.4 的要求,一般埋设于接触网支柱基础、桥梁固定支座端的防护墙(挡砟墙)、隧道边墙或排水沟上,相邻 CPⅢ控制点应大致等高,其位置宜高于设计轨道面 0.3 m。同一条铁路应采用统一的 CPⅢ棱镜组件。

3 CPⅢ控制点号和自由测站的编号应唯一、便于查找。编号规则应符合本规范附录 B.4.1 的规定。

4 CPⅢ平面网的测量仪器设备应满足下列要求:

- 1) 使用的全站仪应具有自动目标搜索、自动照准、自动观测功能,标称精度不低于 $1''$ 、 $1\text{ mm}+2\times 10^{-6}D$ 。对于速度 120 km/h 及以下有砟轨道铁路,可采用标称精度不低于 $2''$ 、 $2\text{ mm}+2\times 10^{-6}D$ 的全站仪。
- 2) 观测前应对全站仪进行检校,作业期间仪器须在有效检定期内。边长观测应进行温度、气压等气象元素改正,温度读数精确至 $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,气压读数精确至 0.5 hPa 。

5 CPⅢ平面网应按本规范附录 F.1.1(点对布设形式)或附录 F.1.2(单点布设形式)的要求构网观测,每个 CPⅢ点至少应保证有三个自由测站的方向和距离观测量,并按本规范附录 G 的要求记录测站信息。

6 CPⅢ平面网水平方向应采用全圆方向观测法进行观测，水平方向观测应满足表 3.9.4—2 的规定。

表 3.9.4—2 CPⅢ平面水平方向观测技术要求

仪器等级	测回数	半测回归零差 (")	一测回内各 方向 2C 互差 (")	同一方向值 各测回较差 (")	备 注
0.5"、1"	2	6	9	6	
2"	2	9	15	9	仅适用于速度 120 km/h 及以下有砟轨道

7 CPⅢ平面网距离测量应满足表 3.9.4—3 的规定。

表 3.9.4—3 CPⅢ平面网距离观测技术要求

铁路类型	轨道结构	列车设计速度 V	测回数	半测回间 距离较差 (mm)	测回间距离 较差(mm)
客货共线 铁路、 重载铁路	无砟	120 km/h < V ≤ 200 km/h	2	≤ 1.0	≤ 1.0
		V ≤ 120 km/h	2	≤ 2.0	≤ 2.0
	有砟	160 km/h < V ≤ 200 km/h	2	≤ 2.0	≤ 2.0
		120 km/h < V ≤ 160 km/h	2	≤ 3.0	≤ 3.0
城际铁路	无砟	V = 160 km/h, V = 200 km/h	2	≤ 1.0	≤ 1.0
		V = 120 km/h	2	≤ 2.0	≤ 2.0
	有砟	V = 200 km/h	2	≤ 2.0	≤ 2.0
		V = 160 km/h	2	≤ 3.0	≤ 3.0
		V = 120 km/h	2	≤ 4.0	≤ 4.0

注:距离测量一测回是全站仪盘左、盘右各测量一次的过程。

8 CPⅢ平面网应与 CPⅡ控制点联测,联测的 CPⅡ控制点间距不应大于 800 m,并按本规范附录 F.1.3(点对布设形式)或本规范附录 F.1.4(单点布设形式)的网形构网观测。自由测站与联

测的 CPⅡ 控制点间的距离不宜大于 300 m。

9 CPⅢ 平面网可根据施工需要分段测量,分段测量的区段长度不宜小于 4 km,区段间重复观测不应少于 4 对(点对布设形式)或 4 个(单点布设形式)CPⅢ 点。区段接头不应位于车站和连续梁范围内。

10 区段之间衔接时,前后区段独立平差重叠点坐标差值应满足表 3.9.4—4 的规定。满足该条件后,后一区段 CPⅢ 网平差时,应采用所联测的 CPⅡ 控制点及前一区段连续 2 对及以上(点对布设形式)或连续 2 个及以上(单点布设形式)CPⅢ 点作为约束点进行平差计算。

表 3.9.4—4 前后区段独立平差 CPⅢ 重叠点坐标差值限差

铁路类型	轨道结构	列车设计速度 V	前后区段独立平差重叠点坐标差值 (mm)
客货共线铁路、重载铁路	无砟	$120 \text{ km/h} < V \leq 200 \text{ km/h}$	≤ 3.0
		$V \leq 120 \text{ km/h}$	≤ 4.5
	有砟	$160 \text{ km/h} < V \leq 200 \text{ km/h}$	≤ 4.5
		$120 \text{ km/h} < V \leq 160 \text{ km/h}$	≤ 6.0
城际铁路	无砟	$V = 160 \text{ km/h}, V = 200 \text{ km/h}$	≤ 3.0
		$V = 120 \text{ km/h}$	≤ 4.5
	有砟	$V = 200 \text{ km/h}$	≤ 4.5
		$V = 160 \text{ km/h}$	≤ 6.0
		$V = 120 \text{ km/h}$	≤ 7.5

11 CPⅢ 平面网数据处理软件应通过铁路主管部门评审。

12 CPⅢ 平面网平差计算应满足下列要求:

1) CPⅢ 平面自由网平差后应满足表 3.9.4—5 的规定。

表 3.9.4—5 CPⅢ平面自由网平差后的主要技术要求

铁路类型	轨道结构	列车设计速度 V	方向改正数 (")	距离改正数 (mm)
客货共线铁路、 重载铁路	无砟	$120 \text{ km/h} < V \leq 200 \text{ km/h}$	≤ 3.0	≤ 2.0
		$V \leq 120 \text{ km/h}$	≤ 4.5	≤ 3.0
	有砟	$160 \text{ km/h} < V \leq 200 \text{ km/h}$	≤ 4.5	≤ 3.0
		$120 \text{ km/h} < V \leq 160 \text{ km/h}$	≤ 6.0	≤ 4.5
城际铁路	无砟	$V = 160 \text{ km/h}, V = 200 \text{ km/h}$	≤ 3.0	≤ 2.0
		$V = 120 \text{ km/h}$	≤ 4.5	≤ 3.0
	有砟	$V = 200 \text{ km/h}$	≤ 4.5	≤ 3.0
		$V = 160 \text{ km/h}$	≤ 6.0	≤ 4.5
		$V = 120 \text{ km/h}$	≤ 6.0	≤ 6.0

2) CPⅢ平面网约束平差后的精度应满足表 3.9.4—6 的规定。

表 3.9.4—6 CPⅢ平面网平差后的主要技术要求

铁路类型	轨道结构	列车设计速度 V	与已知点联测		与 CPⅢ联测		点位 中误差 (mm)	相邻 点的 相对点 位中误 差(mm)
			方向 改正数 (")	距离 改正数 (mm)	方向 改正数 (")	距离 改正数 (mm)		
客货共线 铁路、 重载 铁路	无砟	$120 \text{ km/h} < V \leq 200 \text{ km/h}$	≤ 4.0	≤ 4.0	≤ 3.0	≤ 2.0	≤ 2.0	≤ 1.0
		$V \leq 120 \text{ km/h}$	≤ 6.0	≤ 6.0	≤ 4.5	≤ 3.0	≤ 3.0	≤ 1.5
	有砟	$160 \text{ km/h} < V \leq 200 \text{ km/h}$	≤ 6.0	≤ 6.0	≤ 4.5	≤ 3.0	≤ 3.0	≤ 1.5
		$120 \text{ km/h} < V \leq 160 \text{ km/h}$	≤ 7.5	≤ 7.5	≤ 6.0	≤ 4.5	≤ 4.5	≤ 3.0
		$V \leq 120 \text{ km/h}$	≤ 7.5	≤ 8.0	≤ 6.0	≤ 6.0	≤ 5.0	≤ 4.0

续表 3.9.4—6

铁路类型	轨道结构	列车设计速度 V	与已知点联测		与 CPⅢ联测		点位中误差 (mm)	相邻点的相对点位中误差 (mm)
			方向改正数 (")	距离改正数 (mm)	方向改正数 (")	距离改正数 (mm)		
城际铁路	无砟	V=160 km/h, V=200 km/h	≤4.0	≤4.0	≤3.0	≤2.0	≤2.0	≤1.0
		V=120 km/h	≤6.0	≤6.0	≤4.5	≤3.0	≤3.0	≤1.5
	有砟	V=200 km/h	≤6.0	≤6.0	≤4.5	≤3.0	≤3.0	≤1.5
		V=160 km/h	≤7.5	≤7.5	≤6.0	≤4.5	≤4.5	≤3.0
		V=120 km/h	≤7.5	≤8.0	≤6.0	≤6.0	≤5.0	≤4.0

3.9.5 CPⅢ导线测量应符合下列规定：

1 CPⅢ导线主要技术指标应满足表 3.9.5 的要求。

表 3.9.5 CPⅢ导线测量主要技术要求

导线等级	边长 (m)	测距中误差 (mm)	测角中误差 (")	相邻点相对点位中误差 (mm)	导线全长相对闭合差	方位角闭合差 (")	方位角闭合长度 (km)
一级	120~150	5	4	5	1/20 000	$\pm 8\sqrt{n}$	≤4

注：n 为测站数。

2 CPⅢ导线点布设应兼顾施工及运营维护要求，沿线路每隔 120 m~150 m 布设一个。点位埋设应符合本规范附录 B.4.2 的规定。

3.9.6 坐标换带处 CPⅢ平面网计算时，应分别采用相邻两个投影带的 CPⅡ坐标进行约束平差，并分别提交相邻投影带两套 CPⅢ平面网的坐标成果。提供两套坐标的 CPⅢ区段长度不应小于 800 m。

3.10 成果资料整理

3.10.1 观测和计算成果应做到记录真实、注明明确、格式统一，

并装订成册归档管理。

3.10.2 原始观测记录必须在现场记录清楚,不得涂改或补记。手簿应编列页码,注明观测日期、气象条件、使用的仪器类型和编号,详细记载作业过程的特殊情况,并由作业者签署。

3.10.3 GNSS 平面控制测量数据取位应符合表 3.10.3 的规定。

表 3.10.3 GNSS 平面控制测量数据取位要求

控制网等级	基线向量(mm)	点位中误差(mm)	点位坐标(mm)
特等	0.1	0.1	0.1
一等	0.1	0.1	0.1
二等	0.1	0.1	0.1
三等	0.1	0.1	0.1
四等	1	0.1	1
五等	1	0.1	1

3.10.4 导线及三角形网控制测量数据取位应符合表 3.10.4 的规定。

表 3.10.4 导线及三角形网平面控制测量数据取位要求

控制网等级	水平方向观测值(″)	水平距离观测值(mm)	方向改正数(″)	距离改正数(mm)	点位中误差(mm)	点位坐标(mm)
二等、隧道二等	0.01	0.1	0.01	0.1	0.1	0.1
三、四等	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	1
一级	1	1	1	1	1	1
二级	1	1	1	1	1	1

3.10.5 自由测站边角交会网测量数据取位应符合表 3.10.5 的规定。

表 3.10.5 自由测站边角交会网测量数据取位要求

水平方向 观测值(″)	水平距离 观测值(mm)	方向改正数 (″)	距离改正数 (mm)	点位中误差 (mm)	点位坐标 (mm)
0.1	0.1	0.01	0.01	0.01	0.1

3.10.6 平面控制测量完成后,应提交下列成果资料:

- 1 技术设计书;
- 2 平差计算书;
- 3 CP0、CP I、CP II 控制点点之记;
- 4 控制点成果表;
- 5 控制网联测示意图;
- 6 技术总结。

4 高程控制测量

4.1 一般规定

4.1.1 高程控制测量等级划分为一等、二等、精密水准、三等、四等、五等。各等级高程控制网的技术要求应符合表 4.1.1 的规定。

表 4.1.1 高程控制网的技术要求

水准测量等级	每千米水准测量 偶然中误差 M_{Δ} (mm)	每千米水准测量 全中误差 M_w (mm)	附和路线或环线周长的长度(km)	
			附和路线长	环线周长
一等	≤ 0.45	≤ 1	—	$\leq 1\ 600$
二等	≤ 1	≤ 2	≤ 400	≤ 750
精密水准	≤ 2	≤ 4	≤ 150	≤ 200
三等	≤ 3	≤ 6	≤ 150	≤ 200
四等	≤ 5	≤ 10	≤ 80	≤ 100
五等	≤ 7.5	≤ 15	≤ 30	≤ 30

表 4.1.1 中, M_{Δ} 和 M_w 应按下列公式计算:

$$M_{\Delta} = \sqrt{\frac{1}{4n} \left[\frac{\Delta\Delta}{L} \right]} \quad (4.1.1-1)$$

$$M_w = \sqrt{\frac{1}{N} \left[\frac{WW}{L} \right]} \quad (4.1.1-2)$$

式中 Δ ——测段往返高差不符值(mm);

L ——测段长或环线长(km);

n ——测段数；

W ——附和或环线闭合差(mm)；

N ——水准路线环数。

4.1.2 各等级高程控制测量宜采用水准测量，三等及以下高程控制测量可采用光电测距三角高程测量。在困难地区，精密水准和二等高程控制测量可采用精密光电测距三角高程测量。

4.1.3 高程控制网应布设成附和路线或环形网，加密网宜布设成附和路线或结点网。大型桥梁和隧道可根据工程规模和精度要求建立独立高程控制网。

4.1.4 铁路工程高程控制测量应按分级布设的原则建网。第一级为线路水准基点控制网，是铁路工程勘测设计、施工和运营维护的高程基准；第二级为 CPⅢ 高程网，是轨道施工和维护的高程基准。

4.1.5 当同一铁路需建立不同等级高程控制网时，可分段分等级建立高程控制网，不同等级的高程控制网的分段搭接处理应符合下列规定：

1 不同等级线路水准基点控制网的分段搭接宜以国家高等级水准点为搭接分界点。低等级线路水准基点控制网宜以搭接处的高等级线路水准基点作为约束点参与平差。当搭接分界处附近无国家高等级水准点时，可采用加大高等级测段高差值权的方法进行水准网整体平差。

2 不同等级 CPⅢ 高程网测量搭接平差时，低等级的 CPⅢ 控制网应以搭接处的高等级 CPⅢ 控制点作为约束点参与平差。

4.2 水准测量

4.2.1 各等级水准测量限差应符合表 4.2.1 的规定。

表 4.2.1 水准测量限差要求

水准测量等级	测段、路线往返测高差不符值 (mm)		测段、路线的左右路线高差不符值 (mm)	附和路线或环线闭合差 (mm)		检测已测测段高差之差 (mm)
	平原	山区		平原	山区	
一等	$\pm 1.8\sqrt{K}$		--	$\pm 2\sqrt{L}$		$\pm 3\sqrt{R_i}$
二等	$\pm 4\sqrt{K}$	$\pm 0.8\sqrt{n}$	--	$\pm 4\sqrt{L}$		$\pm 6\sqrt{R_i}$
精密水准	$\pm 8\sqrt{K}$	$\pm 1.6\sqrt{n}$	$\pm 6\sqrt{K}$	$\pm 8\sqrt{L}$		$\pm 12\sqrt{R_i}$
三等	$\pm 12\sqrt{K}$	$\pm 2.4\sqrt{n}$	$\pm 8\sqrt{K}$	$\pm 12\sqrt{L}$	$\pm 15\sqrt{L}$	$\pm 20\sqrt{R_i}$
四等	$\pm 20\sqrt{K}$	$\pm 4\sqrt{n}$	$\pm 14\sqrt{K}$	$\pm 20\sqrt{L}$	$\pm 25\sqrt{L}$	$\pm 30\sqrt{R_i}$
五等	$\pm 30\sqrt{K}$	$\pm 6\sqrt{n}$	$\pm 20\sqrt{K}$	$\pm 30\sqrt{L}$		$\pm 40\sqrt{R_i}$

注:1 K 为测段或路线长度,单位为 km; L 为水准路线长度,单位为 km; R_i 为检测测段长度,以 km 计; n 为测段水准测量站数。

2 当山区水准测量每千米测站数 $n \geq 25$ 站以上时,采用测站数计算高差测量限差。

4.2.2 水准观测的主要技术要求应符合表 4.2.2 的规定。

表 4.2.2 水准观测的主要技术要求

等级	水准仪最低等级	水准尺类型	视距 (m)		前后视距差 (m)		测段的前后视距累积差 (m)		视线高度 (m)		数字水准仪重复测量次数
			光学	数字	光学	数字	光学	数字	光学(下丝读数)	数字	
一等	DS ₀₅	因瓦	≤ 30	≥ 4 且 ≤ 30	≤ 0.5	≤ 1.0	≤ 1.5	≤ 3.0	≥ 0.5	≤ 2.8 且 ≥ 0.65	≥ 3 次
二等	DS ₁	因瓦	≤ 50	≥ 3 且 ≤ 50	≤ 1.0	≤ 1.5	≤ 3.0	≤ 6.0	≥ 0.3	≤ 2.8 且 ≥ 0.55	≥ 2 次
精密水准	DS ₁	因瓦	≤ 60	≥ 3 且 ≤ 60	≤ 1.5	≤ 2.0	≤ 3.0	≤ 6.0	≥ 0.3	≤ 2.8 且 ≥ 0.45	≥ 2 次

续表 4.2.2

等级	水准仪最低等级	水准尺类型	视距 (m)		前后视距差 (m)		测段的前后视距累积差 (m)		视线高度 (m)		数字水准仪重复测量次数
			光学	数字	光学	数字	光学	数字	光学(下丝读数)	数字	
三等	DS ₁	因瓦	≤100	≤100							
	DS ₃	双面木尺 单面条码	≤75	≤75	≤2.0	≤3.0	≤5.0	≤6.0	三丝能 读数	≥0.35	≥1次
四等	DS ₁	双面木尺 单面条码	≤150	≤100							
	DS ₃	双面木尺 单面条码	≤100	≤100	≤3.0	≤5.0	≤10.0	≤10.0	三丝能 读数	≥0.35	≥1次
五等	DS ₃	单面木尺 单面条码	≤100	≤100	大致相等		—		中丝能 读数	≥0.35	≥1次

4.2.3 水准测量宜采用相应等级的数字水准仪及其自动记录功能采集数据。

4.2.4 水准测量所使用的水准仪及水准尺,应在每个项目作业前按本规范附录 D 的规定进行检验。

4.2.5 各等级水准测量的观测方法应按表 4.2.5 的规定执行。

表 4.2.5 水准测量的观测方法

等级	观测方式		观测顺序
	与已知点联测	附和或环线	
一等	往返	往返	奇数站:后—前—前—后
			偶数站:前—后—后—前
二等	往返	往返	奇数站:后—前—前—后
			偶数站:前—后—后—前
精密水准	往返	往返/单程闭合环	奇数站:后—前—前—后
			偶数站:前—后—后—前

续表 4.2.5

等 级	观测方式		观测顺序
	与已知点联测	附和或环线	
三等	往返/左右路线	往返/左右路线	后—前—前—后
四等	往返/左右路线	往返/左右路线	后—后—前—前 或后—前—前—后
五等	单程	单程	后—前

4.2.6 水准观测的测站限差应符合表 4.2.6 的规定。

表 4.2.6 水准观测的测站限差

等 级 \ 项 目	同一标尺两次 读数之差 (mm)	同一测站前后标尺 两次读数高差之差 (mm)	检测间歇点 高差之差 (mm)
一等	0.3	0.4	0.7
二等	0.5	0.7	1
精密水准	0.5	0.7	1
三等	1.5	2.0	3
四等	3	5	5
五等	4	7	—

4.2.7 水准观测中,测站观测限差超限,在本站观测时发现,应立即重测;迁站后发现,则应从水准点或间歇点开始重测。

4.3 光电测距三角高程测量

4.3.1 光电测距三角高程测量的限差应符合表 4.3.1 的规定。

表 4.3.1 光电测距三角高程测量限差要求

测量等级	对向观测高差较差 (mm)	附和或环线高差 闭合差(mm)	检测已测测段的高差 之差(mm)
三等	$\pm 25\sqrt{D}$	$\pm 12\sqrt{\sum D}$	$\pm 20\sqrt{L_i}$
四等	$\pm 40\sqrt{D}$	$\pm 20\sqrt{\sum D}$	$\pm 30\sqrt{L_i}$
五等	$\pm 60\sqrt{D}$	$\pm 30\sqrt{\sum D}$	$\pm 40\sqrt{L_i}$

注: D 为测距边长; L_i 为测段间累计测距边长, 以 km 计。

4.3.2 光电测距三角高程测量宜布设成三角高程网或高程导线，视线高度和离开障碍物的距离不得小于 1.2 m。高程导线的闭合长度不应超过相应等级水准线路的最大长度。

4.3.3 光电测距三角高程测量观测的主要技术要求应符合表 4.3.3 的规定。

表 4.3.3 光电测距三角高程测量观测的主要技术要求

等级	仪器标称精度	边长 (m)	观测方式	两组对向观测高差的平均值之较差 (mm)	测回数	测回间测距较差 (mm)	指标差较差 (")	测回间垂直角较差 (")
三等	$\leq 1'', 2 \text{ mm} + 2 \times 10^{-6} D$	≤ 600	对向观测	$\pm 12\sqrt{D}$	4	4	5	5
四等	$\leq 2'', 3 \text{ mm} + 2 \times 10^{-6} D$	≤ 800	对向观测	$\pm 20\sqrt{D}$	3	6	7	7
五等	$\leq 2'', 5 \text{ mm} + 5 \times 10^{-6} D$	≤ 1000	对向观测	—	2	10	10	10

4.3.4 三等光电测距三角高程测量应按双程对向方法进行两组对向观测；四等光电测距三角高程测量可按双程对向方法或单程双对向方法进行两组对向观测。

4.3.5 所使用的仪器在作业前应按本规范附录 A 的规定进行检校，仪器作业的各项要求应符合本规范附录 A 的规定。

4.3.6 光电测距三角高程测量应满足下列要求：

- 1 光电测距三角高程测量可结合平面导线测量同时进行。
- 2 仪器高和反射镜高量测，应在测前、测后各测一次，两次互差不得超过 2 mm。三、四等测量时，宜采用专用测尺或测杆量测。
- 3 垂直角采用中丝法测量，对向观测应符合本规范表 4.3.3 的规定。
- 4 距离观测时，应测定气温和气压。气温读至 0.5 °C，气压读至 1.0 hPa，并加入气象改正。

5 光电测距三角高程测量应选择成像稳定清晰时观测。在日出、日落时,大气垂直折光系数变化较大,不宜进行长边观测。

4.3.7 三角高程测量高差应按下列公式计算:

单向观测

$$\Delta h_{1.2} = S_{1.2} \sin V_{1.2} + \frac{(1-k) S_{1.2}^2 \cos^2 V_{1.2}}{2R} + i_1 - l_2 \quad (4.3.7-1)$$

对向观测

$$\Delta h_{1.2} = \frac{S_{1.2} \sin V_{1.2} - S_{2.1} \sin V_{2.1}}{2} + \frac{1}{2}(i_1 + l_1) - \frac{1}{2}(i_2 + l_2) \quad (4.3.7-2)$$

式中 $\Delta h_{1.2}$ ——点 1 至点 2 间的高差;

$S_{i,j}$ ——点 i 至点 j 间的斜距;

$V_{i,j}$ ——点 i 至点 j 间的垂直角;

i_1, i_2 ——点 1、点 2 的仪器高;

l_1, l_2 ——点 1、点 2 的反射镜高;

k ——当地大气折光系数;

R ——地球平均曲率半径。

4.3.8 三、四等光电测距三角高程测量中,当一组对向观测高差较差超限,但对向观测高差平均值与另一组对向观测高差平均值的均值。对于五等光电测距三角高程测量,当对向观测高差较差超限时,应重新对向观测;当重测的对向观测高差较差仍然超限,但高差平均值与原测高差平均值之差不大于 $30\sqrt{D}$ 时,其结果取 2 次对向观测高差平均值的均值。

4.4 精密光电测距三角高程测量

4.4.1 精密光电测距三角高程测量主要用于困难地区代替精密

水准和二等水准测量,所采用的全站仪应具有自动目标搜索、自动照准、自动观测功能,仪器标称精度应不低于 $0.5''$ 、 $1\text{ mm} + 1 \times 10^{-6}D$ 。

4.4.2 精密光电测距三角高程测量应采用两台全站仪同时对向观测,不量取仪器高和觇标高,观测距离一般不大于 500 m,最长不应超过 1 000 m。

4.4.3 精密光电测距三角高程测量观测的主要技术要求应符合表 4.4.3 的规定。

表 4.4.3 精密光电测距三角高程测量观测的主要技术要求

边长(m)	测回数	指标差较差 ($''$)	测回间垂 直角较差($''$)	测回间测距 较差(mm)	测回间高差较差 (mm)
≤ 100	2	5	5	3	精密水准: $\pm 8\sqrt{S}$ 二等水准: $\pm 4\sqrt{S}$
100~500	4				
500~800	6				
800~1 000	8				

注: S 为视线长度,单位为 km。

4.4.4 精密光电测距三角高程测量应采用往返观测,观测中应测定气温和气压。气温读至 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,气压读至 1.0 hPa ,并在斜距中加入气象和仪器加、乘常数改正。

4.4.5 精密光电测距三角高程测量其他精度指标应满足本规范表 4.1.1 和表 4.2.1 的规定。

4.5 跨河水准测量

4.5.1 水准路线跨越江河、湖海及深沟时,应采用跨河水准方法测量。各等级跨河水准测量应按下列规定执行:

1 当一、二等水准视线长度不超过 100 m,精密水准视线长度超过 120 m,三、四、五等水准视线长度不超过 200 m 时,跨河水准测量可采用一般方法进行观测,在测站上应变换仪器高度观测

两次,两次高差之差应符合表 4.5.1—1 的规定。

表 4.5.1—1 跨河水准测量两次观测高差之差

测量等级	高差之差(mm)	测量等级	高差之差(mm)
一等	1.5	三等	5
二等	1.5	四等	7
精密水准	2.5	五等	9

2 当一、二等水准视线长度超过 100 m,精密水准视线长度超过 120 m,三、四、五等水准视线长度超过 200 m 时,跨河水准测量应根据视线长度和仪器设备等情况,按表 4.5.1—2 的规定选用适当方法进行观测。一等、二等、精密水准、三等跨河水准测量应采用双线过河,并按同等精度在两岸联测,组成四边形闭合环。

表 4.5.1—2 跨河水准测量方法及其适用等级、最大视线长度

观测方法	适用等级	最大视线长度(m)	观测方法	适用等级	最大视线长度(m)
直接读尺法	二等、精密水准	200	倾斜螺旋法	三等及以上	1 500
	三等及以下	300			
光学测微法	三等及以上	500	三角高程法	四、五等	2 000
	四、五等	1 000			
经纬仪倾角法	各等级	3 500	GNSS 测量法	各等级	3 500

注:当视线长度超过表 4.5.1—2 的规定时,应依据测区条件进行专项设计。

4.5.2 采用直接读尺法、光学测微法、倾斜螺旋法、经纬仪倾角法和三角高程法进行跨河水准测量时,应根据跨河视线长度按下列规定确定测回数、组数和限差:

1 观测的测回数及组数应符合表 4.5.2 的规定。

表 4.5.2 跨河水准测量观测的测回数 and 组数

跨河视线长度 (m)	一等		二等		精密水准		三等		四等		五等	
	双测 回数	半测 回组 数	双测 回数	半测 回组 数	双测 回数	半测 回组 数	双测 回数	半测 回组 数	双测 回数	半测 回组 数	双测 回数	半测 回组 数
≤300	4	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1	1
301~500	6	4	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1
501~800	8	6	6	4	6	4	4	3	2	2	1	1
801~1 000	10	6	8	4	6	4	4	3	2	2	2	1
1001~1 200	12	8	8	6	6	6	4	4	3	2	2	2
1201~1 500	14	8	10	6	6	6	4	4	3	2	2	2
1501~1 800	18	12	12	8	8	6	6	4	4	3	3	2
1801~2 000	20	12	14	8	10	6	6	4	4	3	3	2
>2 000	10S	12	7S	8	5S	6	3S	4	4	3	4	2

注：S为跨河视线长度千米数，尾数凑整到 0.5 或 1。

2 各双测回间高差互差限值 $dH_{限}$ 按下式计算：

$$dH_{限} = 4 \cdot M_{\Delta} \sqrt{N \cdot S} \quad (4.5.2)$$

式中 $dH_{限}$ ——测回间高差互差限值(mm)；

M_{Δ} ——相应等级的每千米水准测量的偶然中误差
(mm)；

N ——双测回的测回数；

S ——跨河视线长度(km)。

3 当使用一台水准仪或两台经纬仪进行跨河水准测量不能组成双测回时，测回数应为表 4.5.2 所列数值的 2 倍。计算单测回高差互差限值 $dH_{限}$ 时， N 按单测回数计。

4.5.3 采用直接读尺法、光学测微法、倾斜螺旋法和经纬仪倾角法进行跨河水准测量时，仪器的选用与检校、场地的选定与布设、觇板(或标灯)设计与制作、观测程序与方法、记录与计算等技术要求应符合现行《国家一、二等水准测量规范》GB/T 12897 和《国家

三、四等水准测量规范》GB/T 12898 中的有关规定。

4.5.4 采用三角高程法进行一等、二等、精密水准、三等跨河水准测量时,应遵循下列要求:

1 采用平行四边形或等腰梯形选定跨河点,布设场地,视线垂直角不宜大于 3° 。如图 4.5.4 所示,A、B 和 C、D 分别为两岸安置仪器(或标尺)的位置,均应埋设固定标志。

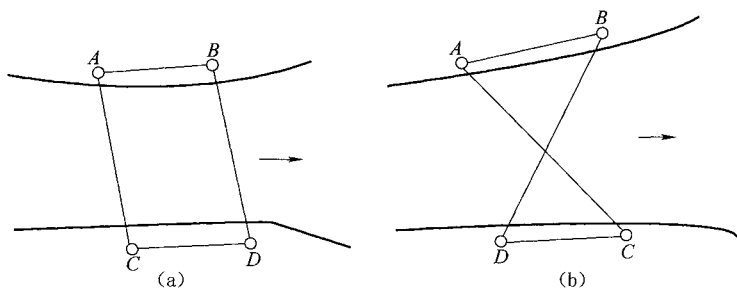


图 4.5.4 三角高程法跨河场地布设图形

2 仪器的选用应符合现行《国家一、二等水准测量规范》GB/T 12897 和本规范第 4.3 节、第 4.4 节中相应等级的要求。

3 本岸测站点间高差测定宜采用水准仪测量,按同等级水准测量要求进行往返观测。也可采用三角高程法测量,按现行《国家一、二等水准测量规范》GB/T 12897 和本规范第 4.3 节、第 4.4 节中相应等级的技术要求进行施测。

4 垂直角观测程序

- 1) 观测近标尺:在 A、D 设站,同时观测本岸近标尺,测定近标尺读数 b_B 和 b_C 。
- 2) 观测远标尺:两岸仪器同步观测对岸远标尺,测定 α_{AC} 和 α_{DB} 。
- 3) 将仪器分别从 A、D 搬至同岸的 B、C 设站,依次完成远、近标尺的观测和读数,测定 α_{BD} 、 α_{CA} 和 b_A 、 b_D 。至此,

两台仪器共完成 2 个单测回。

5 垂直角观测方法

- 1) 观测近标尺:首先在经纬仪(全站仪)盘左的位置,照准近标尺的基本分划线,读取水平视线的标尺厘米分划数 a ,再使水平丝分别照准该分划线的下、上边缘精确读数各 2 次;再以盘右位置,同时照准该分划线的上、下边缘并读数各 2 次,完成了一组观测(近标尺只测一组)。盘左或盘右同一边缘两次照准读数差不应大于 $3''$ 。
- 2) 观测远标尺:在盘左位置照准远标尺上觐板标志或标灯(棱镜)4 次,并进行精密读数。4 次读数之差不应大于 $3''$ 。在盘右位置按盘左操作方法进行照准和读数。以上观测为一组垂直角观测。

当采用上、下觐板观测时,盘左依次照准上、下觐板标志,盘右按相反次序照准下、上觐板标志。照准和读数方法与单觐板观测相同。同一标志 4 次照准读数差不应大于 $3''$ 。

- 3) 各组垂直角观测的限差按表 4.5.4 的规定执行。

表 4.5.4 三角高程法跨河水准测量垂直角观测的限差

指标差互差	同一标志垂直角互差
$\leq 8''$	$\leq 4''$

- 4) 每一仪器位置观测完成后,观测员、仪器、标尺应相互调岸,并按相同程序和方法进行观测。也可在测完半数测回后调岸。总测回数应为本规范表 4.5.2 中双测回数的 2 倍。

6 测站点间距离测量的技术要求应符合现行《国家一、二等水准测量规范》GB/T 12897、《国家三、四等水准测量规范》GB/T 12898 和本规范第 4.3 节、第 4.4 节中相应等级的有关规定。

- 7 测回间高差互差的检算应满足下列要求:

- 1) 每条边各单测回高差的互差应符合式(4.5.2)规定的限值,其中 N 为单测回数。
- 2) 由平行四边形或梯形的四条边组成的独立闭合环,用同一时段各条边高差或各时段高差均值计算的闭合差 W 限值应按式计算:

$$W=6 \cdot M_w \cdot \sqrt{S} \quad (4.5.4)$$

式中 M_w ——每千米水准测量相应等级的全中误差限值(mm);
 S ——跨河视线长度(km)。

4.5.5 采用三角高程法进行四、五等跨河水准测量时,可按本规范第4.5.4条的规定执行。当跨河视线长度符合本规范表4.3.3中相应等级的边长要求时,也可按本规范第4.3节的技术要求进行施测。

4.5.6 采用GNSS法进行跨河水准测量时,应按现行《国家一、二等水准测量规范》GB/T 12897中的有关规定执行。

4.5.7 GNSS高程传递跨距超过3500m时,宜综合采用GNSS水准法、绝对和相对重力位差法、垂线偏差法等方法,考虑地球重力场模型的精度和分辨率、GNSS水准点的分布和密度,选择高精度地球重力场模型,并考虑地形起伏对高程异常差的影响。必要时开展区域加密重力测量、GNSS水准测量等相关工作。

4.6 卫星定位(GNSS)高程测量

4.6.1 GNSS高程测量宜与GNSS平面控制测量一起进行,适用于高程异常变化平缓地区的五等及以下高程测量。

4.6.2 GNSS高程转换可采用几何拟合法、基于似大地水准面模型精化的高程异常拟合法和高程异常差拟合法等。

4.6.3 当采用拟合方法求解高程值时,应在测区周围和测区内联测四等及以上水准点。联测点数应大于选用计算模型中未知参数的个数。

4.6.4 根据路线大致走向、水准点的分布划分拟合区域,分段求取高程拟合参数。每个拟合区的路线长度宜控制在 50 km 以内。

4.6.5 应选择多种拟合模型进行高程拟合,并用未参与建模的水准点检验拟合的效果,选择最佳拟合结果作为最终成果。利用求得的 GNSS 点间的正常高程差,在已知点间组成高程附和或闭合路线,其闭合差应符合本规范表 4.2.1 的规定。

4.7 线路水准基点测量

4.7.1 线路水准基点控制网宜在定测前施测,应沿线路布设成附和路线或闭合环,每 2 km 布设一个水准基点,重点工程(大桥、长隧及特殊路基结构)地段应根据实际情况增设水准基点。点位距线路中线 50 m~300 m 为宜。

4.7.2 水准基点埋设应满足下列要求:

1 水准点应选在土质坚实、安全僻静、观测方便和利于长期保存的地方。

2 严寒冻土地区普通水准点标石应埋设至冻土线 0.3 m 以下,以保证线路水准基点的稳定。

3 水准点标石埋设式样应符合本规范附录 B.3 的规定,并按本规范附录 C 的要求做好点之记。

4 水准基点可与平面控制点共用。共桩点的埋设标石规格应符合水准点埋设的标石规格要求。

4.7.3 对于无砟轨道铁路,在地表沉降不均匀及地质不良地区,宜按每 10 km 设置一个深埋水准点,每 50 km 设置一个基岩水准点。深埋水准点和基岩水准点应尽量利用国家或其他测绘单位埋设的稳定深埋水准点和基岩水准点。

4.7.4 线路水准基点测量等级按表 4.7.4 的规定执行。

表 4.7.4 线路水准基点测量等级要求

铁路类型	轨道结构	列车设计速度 V	测量等级
客货共线铁路、重载铁路	无砟	$120 \text{ km/h} < V \leq 200 \text{ km/h}$	二等
		$V \leq 120 \text{ km/h}$	三等
	有砟	$120 \text{ km/h} < V \leq 200 \text{ km/h}$	三等
		$V \leq 120 \text{ km/h}$	四等
城际铁路	无砟	$V = 160 \text{ km/h}, V = 200 \text{ km/h}$	二等
		$V = 120 \text{ km/h}$	精密
	有砟	$V = 160 \text{ km/h}, V = 200 \text{ km/h}$	精密
		$V = 120 \text{ km/h}$	三等

4.7.5 线路水准基点控制网宜全线(段)一次布网,统一测量,整体平差。

4.8 轨道控制网(CPⅢ)高程测量

4.8.1 CPⅢ控制网高程测量前,应进行线上水准基点加密。隧道内加密水准基点间距为 1 km,其余段落加密水准基点间距为 2 km,测量等级应符合本规范第 4.7.4 条的要求。

4.8.2 桥面线上水准基点与线下水准基点联测可采用不量仪器高和棱镜高的中间设站光电测距三角高程测量法,并符合下列规定:

1 中间设站光电测距三角高程测量外业观测应符合表 4.8.2—1 的规定。仪器与棱镜的距离一般不大于 100 m,最大不得超过 150 m,前、后视距差不应超过 5 m。

表 4.8.2—1 中间设站光电测距三角高程测量外业观测技术要求

等级	仪器标称精度	测回数	垂直角测量		距离测量	
			指标差较差(")	测回间较差(")	测回内较差(mm)	测回间较差(mm)
二等	$\leq 0.5''$ 、 $1 \text{ mm} + 1 \times 10^{-6} D$	4	5	5	2	2
精密	$\leq 0.5''$ 、 $1 \text{ mm} + 1 \times 10^{-6} D$	3	5	5	2	2

续表 4.8.2—1

等级	仪器标称精度	测回数	垂直角测量		距离测量	
			指标差较差(")	测回间较差(")	测回内较差(mm)	测回间较差(mm)
三等	$\leq 1''$ 、 $2\text{ mm}+2\times 10^{-6}D$	2	5	5	3	3
四等	$\leq 1''$ 、 $2\text{ mm}+2\times 10^{-6}D$	2	7	7	3	3

2 中间设站光电测距三角高程传递应进行两组独立观测,两组高差较差应符合表 4.8.2—2 的规定,并取两组高差平均值作为传递高差。

表 4.8.2—2 中间设站光电测距三角高程测量组间高差较差要求

等级	独立组数	组间高差较差(mm)
二等	2	2
精密	2	2
三等	2	3
四等	2	4

4.8.3 CPⅢ控制网高程测量的精度等级应符合表 4.8.3 的规定。

表 4.8.3 轨道控制网(CPⅢ)高程测量精度等级要求

铁路类型	轨道结构	列车设计速度 V	精度等级
客货共线铁路、重载铁路	无砟	$120\text{ km/h}<V\leq 200\text{ km/h}$	精密
		$V\leq 120\text{ km/h}$	三等
	有砟	$160\text{ km/h}<V\leq 200\text{ km/h}$	三等
		$V\leq 160\text{ km/h}$	四等
城际铁路	无砟	$V=160\text{ km/h}, V=200\text{ km/h}$	精密
		$V=120\text{ km/h}$	三等
	有砟	$V=200\text{ km/h}$	三等
		$V=120\text{ km/h}, V=160\text{ km/h}$	四等

4.8.4 CPⅢ控制网高程测量可采用水准测量或三角高程测量方法施测,并应附合于线上水准基点上,附合路线长度不应大于 3 km。

4.8.5 采用水准测量进行 CPⅢ控制网高程测量时,应满足下列要求:

1 点对布设的 CPⅢ控制网外业观测可采用往返观测或按本规范附录 F.2.1 网形进行单程观测。单程观测数据应按本规范附录 F.2.2 所示网形进行相邻两对 CPⅢ点所构成的闭合环的闭合差检核,水准环闭合差应符合表 4.8.5 的规定。

表 4.8.5 点对布设的 CPⅢ控制网水准测量相邻两对点水准环闭合差限值

铁路类型	轨道结构	列车设计速度 V	精度等级	相邻点对水准环闭合差 (mm)
客货共线铁路、重载铁路	无砟	$120 \text{ km/h} < V \leq 200 \text{ km/h}$	精密	≤ 1.0
		$V \leq 120 \text{ km/h}$	三等	≤ 2.0
	有砟	$160 \text{ km/h} < V \leq 200 \text{ km/h}$	三等	≤ 2.0
		$120 \text{ km/h} < V \leq 160 \text{ km/h}$	四等	≤ 3.0
城际铁路	无砟	$V = 160 \text{ km/h}, V = 200 \text{ km/h}$	精密	≤ 1.0
		$V = 120 \text{ km/h}$	三等	≤ 2.0
	有砟	$V = 200 \text{ km/h}$	三等	≤ 2.0
		$V = 160 \text{ km/h}$	三等	≤ 3.0
		$V = 120 \text{ km/h}$	四等	≤ 3.5

2 单侧自由测站布设的 CPⅢ控制点和导线形式布设的 CPⅢ控制点高程测量应按表 4.8.3 规定的水准测量精度等级施测。

4.8.6 采用自由测站三角高程测量进行 CPⅢ控制网高程测量时,应满足下列要求:

1 外业观测宜与 CPⅢ平面控制测量合并进行,同步获取边长和垂直角观测值。

2 采用点对布设和单点布设的 CPⅢ控制网,不同测站所测得的相邻点高差,应分别按本规范附录 F.3.1 和附录 F.3.2 规定的网形构网计算。

3 用于构建 CPⅢ控制网自由测站三角高程的观测值,除满足 CPⅢ平面网的外业观测要求外,还应满足表 4.8.6—1 的规定。

表 4.8.6—1 CPⅢ控制网自由测站三角高程外业观测的主要技术要求

仪器标称精度	测回数	测回间距离较差(mm)	测回间竖盘指标差互差(″)	测回间竖直角互差(″)
$\leq 1''$, $1 \text{ mm} + 2 \times 10^{-6} D$	≥ 2	≤ 2	≤ 9	≤ 6

4 构网平差时,由不同测站测量的两相邻点高差互差应满足表 4.8.6—2 的规定,高差值采用距离加权平均值。

表 4.8.6—2 不同自由测站测量的两相邻 CPⅢ点高差限值

铁路类型	轨道结构	列车设计速度 V	不同测站测量的两相邻点高差互差(mm)
客货共线铁路、重载铁路	无砟	$120 \text{ km/h} < V \leq 200 \text{ km/h}$	≤ 2.0
		$V \leq 120 \text{ km/h}$	≤ 3.0
	有砟	$160 \text{ km/h} < V \leq 200 \text{ km/h}$	≤ 3.0
		$120 \text{ km/h} < V \leq 160 \text{ km/h}$	≤ 3.5
城际铁路	无砟	$V = 160 \text{ km/h}, V = 200 \text{ km/h}$	≤ 2.0
		$V = 120 \text{ km/h}$	≤ 3.0
	有砟	$V = 200 \text{ km/h}$	≤ 3.0
		$V = 160 \text{ km/h}$	≤ 3.5
		$V = 120 \text{ km/h}$	≤ 4.0

5 CPⅢ自由测站三角高程测量数据处理软件应通过铁路主管部门评审。

4.8.7 导线形式布置的 CPⅢ控制点三角高程测量应按四等光电测距三角高程的要求施测。

4.8.8 CPⅢ控制网高程测量应采用线上水准基点进行固定数据严密平差,平差后的各项精度指标应符合表 4.8.8 的规定。

表 4.8.8 CPⅢ高程网平差后的精度指标

铁路类型	轨道结构	列车设计速度 V	高差改正数 (mm)	高程中误差 (mm)	平差后相邻点高差中误差(mm)
客货共线铁路、重载铁路	无砟	$120 \text{ km/h} < V \leq 200 \text{ km/h}$	≤ 1.0	≤ 2.0	≤ 0.5
		$V \leq 120 \text{ km/h}$	≤ 2.0	≤ 4.0	≤ 1.0
	有砟	$160 \text{ km/h} < V \leq 200 \text{ km/h}$	≤ 2.0	≤ 4.0	≤ 1.0
		$120 \text{ km/h} < V \leq 160 \text{ km/h}$	≤ 3.0	≤ 6.0	≤ 2.0
城际铁路	无砟	$V=160 \text{ km/h}, V=200 \text{ km/h}$	≤ 1.0	≤ 2.0	≤ 0.5
		$V=120 \text{ km/h}$	≤ 2.0	≤ 4.0	≤ 1.0
	有砟	$V=200 \text{ km/h}$	≤ 2.0	≤ 4.0	≤ 1.0
		$V=160 \text{ km/h}$	≤ 3.0	≤ 5.0	≤ 2.0
		$V=120 \text{ km/h}$	≤ 3.5	≤ 6.0	≤ 2.5

4.8.9 CPⅢ控制网高程测量可根据施工需要分段施测,区段划分宜与 CPⅢ平面控制网区段划分一致。前后区段衔接应满足下列规定:

1 CPⅢ水准测量前后区段之间重叠点不应少于 2 对(点对布设形式)或 2 个(单点布设形式)。

2 CPⅢ自由测站三角高程测量前后区段之间重叠点不应少于 4 对(点对布设形式)或 4 个(单点布设形式)。

3 CPⅢ导线点高程测量前后区段间重叠点不应少于 2 个。

4.8.10 CPⅢ控制网高程测量区段间衔接时,前后区段独立平差重叠点高程差值应满足表 4.8.10 的规定。满足该条件后,后一区

段 CPⅢ网平差应采用所联测的线上水准基点及前一区段 CPⅢ点作为约束点进行平差。

表 4.8.10 前后区段独立平差 CPⅢ重叠点高程差值限差

铁路类型	轨道结构	列车设计速度 V	前后区段独立平差重叠点高程差值 (mm)
客货共线铁路、重载铁路	无砟	$120 \text{ km/h} < V \leq 200 \text{ km/h}$	≤ 3.0
		$V \leq 120 \text{ km/h}$	≤ 5.0
	有砟	$160 \text{ km/h} < V \leq 200 \text{ km/h}$	≤ 5.0
		$120 \text{ km/h} < V \leq 160 \text{ km/h}$	≤ 7.5
城际铁路	无砟	$V = 160 \text{ km/h}, V = 200 \text{ km/h}$	≤ 3.0
		$V = 120 \text{ km/h}$	≤ 5.0
	有砟	$V = 200 \text{ km/h}$	≤ 5.0
		$V = 160 \text{ km/h}$	≤ 7.5
		$V = 120 \text{ km/h}$	≤ 10.0

4.9 内业计算及成果资料整理

4.9.1 高程控制测量外业工作结束后,应进行观测数据质量检核。检核的内容包括:测站数据、测段高差数据,附和路线和环线的高差闭合差。数据质量合格后,方可进行平差计算。

4.9.2 高程测量结束后,应以测段往返测(左、右路线)高差不符值,按本规范式(4.1.1—1)计算每千米水准测量偶然中误差 M_{Δ} 。当高程控制网的附和路线或环线 ≥ 20 个时,还应以附和或环线闭合差,按本规范式(4.1.1—2)计算每千米水准测量全中误差 M_w 。

4.9.3 测量成果的重测与取舍应符合下列规定:

1 测段往返测高差不符值超限时,应先就可靠程度较小的往返测或返测进行整段重测,并按下列原则进行取舍:

- 1) 若重测的高差与同方向原测高差的较差超过往返测高差不符值的限差,但与另一单程高差的不符值不超出限差,则取用重测结果。
- 2) 若同方向两高差不符值未超出限差,且其中数与另一单程高差的不符值亦不超出限差,则取同方向中数作为该单程的高差。
- 3) 若 1) 中的重测高差或 2) 中两同方向高差中数与另一单程的高差不符值超出限差,应重测另一单程。
- 4) 若超限测段经过两次或多次重测后,出现同向观测结果靠近而异向观测结果间不符值超限的分群现象时,如果同方向高差不符值小于限差之半,则取原测的往返高差中数作为往测结果,取重测的往返高差中数作为返测结果。

2 由测段往返测(左、右路线)高差不符值计算的每千米水准测量偶然中误差 M_{Δ} 超限时,应重测不符值较大的测段。

4.9.4 一、二等水准测量与国家水准点附合时,所采用高差可根据实际情况进行水准标尺长度、水准标尺温度、正常水准面不平行、重力异常等项计算改正。

4.9.5 四等及以上高程控制网应采用严密平差方法进行整体平差,并计算各点的高程中误差。五等高程控制网可采用近似平差方法进行平差。

4.9.6 高程控制测量数据取位应符合表 4.9.6 的规定。

表 4.9.6 各等级高程控制测量数据取位要求

等级	往(返)测距离总和(km)	往(返)测距离中数(km)	各测站高差(mm)	往(返)测高差总和(mm)	往(返)测高差中数(mm)	高程(mm)
一、二等精密水准	0.01	0.1	0.01	0.01	0.1	0.1
三、四等	0.01	0.1	0.1	0.1	0.1	1
五等	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	1

4.9.7 高程控制测量完成后,应提交下列成果资料:

- 1 技术设计书;
- 2 平差计算书;
- 3 高程成果表;
- 4 水准点之记;
- 5 水准路线联测示意图;
- 6 技术总结。

5 线路测量

5.1 初测控制测量

5.1.1 初测平面控制测量宜在 CP I 平面控制网基础上进行。当初测阶段布设 CP I 平面控制网困难时,可沿线路每 8 km 左右布设一对或每 4 km 左右布设一个 GNSS 点作为初测首级控制,按四等 GNSS 网技术要求施测。当测区在国家或地方连续运行参考站(CORS)覆盖范围内时,参考站可作为初测控制使用。

5.1.2 专业勘测需要时,应布设初测控制点。初测控制点可凿刻于坚硬的岩石、混凝土面上或钉设木质方桩。

5.1.3 初测控制点平面可采用 GNSS 测量或全站仪导线测量,紧闭于初测 GNSS 点。采用 GNSS 测量时,按五等 GNSS 网技术要求施测;采用全站仪导线测量时,按二级导线测量要求施测。

5.1.4 初测控制点高程按五等水准测量精度要求施测,可采用水准测量、光电测距三角高程测量或 GNSS 高程测量。

5.2 地形测量

5.2.1 地形测量宜采用航空摄影测量方法,也可采用全站仪数字化测图法、GNSS RTK 数字化测图法、激光扫描法等方法测图。

5.2.2 地形等级应按表 5.2.2 的规定划分。

表 5.2.2 地形等级

地形等级	I (平坦地)	II (丘陵地)	III (山地)	IV (高山地)
地面坡度(°)	<3	3~10	10~25	25 以上
地面高差(m)	<25	25~150	150~350	350 以上

注:表内数据系指在一个测段测图范围内的大部分地面坡度或高差,当地面坡度与高差有矛盾时,一般以地面坡度为主。

5.2.3 地形图的基本等高距应符合表 5.2.3 的规定。

表 5.2.3 地形图的基本等高距

地形图比例尺	1:500	1:1000	1:2000	1:5000	1:10000
基本等高距(m)	0.5;1	1;2	1;2	2;5;10	5;10

注:同一测区的同一种比例尺地形图,宜采用同一种基本等高距。

5.2.4 地物点在图上的点位中误差不应大于表 5.2.4 的规定。

表 5.2.4 点位中误差表

地形图比例尺	点位中误差(mm)
1:500,1:1000	1.6
1:2000	I、II级地形:1.0;III、IV级地形:1.2;困难时:1.6
1:5000,1:10000	I、II级地形:0.5;III、IV级地形:0.8;困难时:1.2

5.2.5 高程注记点、等高线的高程中误差不应大于表 5.2.5 的规定。

表 5.2.5 高程注记点和等高线的高程中误差表

地形等级 比例尺	I		II		III		IV	
	高程注记点(m)	等高线(m)	高程注记点(m)	等高线(m)	高程注记点(m)	等高线(m)	高程注记点(m)	等高线(m)
1:500	0.20	0.25	0.40	0.50	0.60	0.75	0.80	1.00
1:1000	0.40	0.50	0.60	0.75	0.80	1.00	1.20	1.50
1:2000	0.60	0.75	0.96	1.20	1.60	2.00	2.00	2.50
1:5000	0.90	1.00	1.20	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50
1:10000	1.20	1.50	2.00	2.50	3.20	4.00	4.80	6.00

注:隐蔽和困难地区,可按表 5.2.5 的规定放宽到 1.5 倍。

5.2.6 地形图图例符号应符合现行国家地形图图式和《铁路工程图形符号标准》的规定。

5.2.7 地形点的分布及密度应能反映地形、地貌的真实情况,满

足正确插入等高线的需要。1:2 000、1:5 000、1:10 000 地形图高程点的注记至 0.1 m;1:500、1:1 000 地形图高程点的注记至 0.01 m。

5.2.8 图根点可用导线法、支导线法和 GNSS RTK 法测设,起闭于初测导线点或 GNSS 点。图根点相对于邻近控制点,平面点位中误差不应大于图上 0.1 mm,高程中误差不应大于 1/10 基本等高距。

5.2.9 在测站上作业前,应核对后视点的距离和高程,并应重测前站所测的明显地物点或对数个测点进行检查。观测时间较长或移站前均应检查后视方向。

5.2.10 全站仪数字化测图应符合下列规定:

1 仪器对中误差不得大于 5 mm。仪器高和棱镜高应量至 0.01 m。

2 数据采集开始前和结束后,应对后视点的距离和高程进行检查,距离较差不应大于图上 0.1 mm,高程较差不应大于 1/6 基本等高距。检测结果超限时,本站已测的碎部点必须重测。

3 距离观测应符合表 5.2.10 的规定。

表 5.2.10 全站仪测图最大观测距离

测图比例尺	1:500	1:1 000	1:2 000	1:5 000	1:10 000
观测距离(m)	240	360	600	900	1 200

4 数据采集编码宜采用“地形码+信息码”的形式,必要时现场绘制草图,标明点的连接关系。

5.2.11 GNSS RTK 数字化测图应符合下列规定:

1 求解转换参数的高等级控制点应均匀分布于周围,且数量不少于 4 个,均匀分布于整个测图区域周围。

2 数据采集开始前,宜检测 1 个以上不低于图根点精度的已知点。平面较差不应大于图上 0.2 mm,高程较差不应大于 1/5 基本等高距。

3 测点采集应输入点的属性(点号、代码),必要时现场绘制草图,标明点的连接关系。

5.2.12 地形测绘应包括下列内容:

1 三角点、GNSS点、导线点和水准点应测出其位置并注明编号及高程。

2 居民地及各类建筑物。

3 省、县、乡等行政区划界线。

4 树林、竹园、果园、菜园、稻田、旱地、荒地、苗圃等各种植被及其他地类界。

5 铁路、公路、便道、人行道路。铁路、公路应注明名称及去向,公路应加注铺面材料。

6 各种电力线、通信线、管线、电缆及各种栅栏、地下管线、检修井等。

7 池塘、沟渠、河流(注明河名、流向及通航情况)、泉、井、水库、沼泽、桥梁、虹吸管、堤灌设备等。

8 明显的不良地质分界线、人工洞穴和坟地范围。

9 村镇名称、地名、道路名称、主要企事业单位及国家规定的文物保护单位、自然保护区。

10 其他各种地貌、地物,当不能按实际情况测绘时,均按规定图例描绘。

5.2.13 地形图平面和高程精度的检查和质量评定应符合下列规定:

1 地物点在图上的点位中误差应符合本规范表 5.2.4 的规定。

2 检查时点位中误差应按下列公式计算:

1) 用高精度方法检查时

$$m_s = \pm \sqrt{\frac{[\Delta_s \Delta_s]}{n}} \quad (5.2.13-1)$$

2) 用同等精度方法检查时

$$m_s = \pm \sqrt{\frac{[\Delta_{1s}\Delta_{1s}]}{2n}} \quad (5.2.13-2)$$

式中 m_s ——检测时点位中误差(mm)；
 Δ_s ——高精度检查点位与图上同名点位较差(mm)；
 Δ_{1s} ——同精度检查点位与图上同名点位较差(mm)；
 n ——地物检查点个数。

3 等高线高程中误差应符合本规范表 5.2.5 的规定。检查时高程中误差应按下列公式计算：

1) 用高精度方法检查时

$$m_h = \pm \sqrt{\frac{[\Delta_h\Delta_h]}{n}} \quad (5.2.13-3)$$

2) 用同等精度方法检查时

$$m_h = \pm \sqrt{\frac{[\Delta_{1h}\Delta_{1h}]}{2n}} \quad (5.2.13-4)$$

式中 m_h ——检测时高程中误差(m)；
 Δ_h ——高精度检查点的高程与图上内插高程之差(m)；
 Δ_{1h} ——同精度检查点的高程与图上内插高程之差(m)；
 n ——高程检查点个数。

5.3 中线测量

5.3.1 线路中线测量前,应检查测区平面控制点和水准点分布情况。当控制点精度和密度不能满足中线测量需要时,平面应按五等 GNSS 或一级导线测量精度要求加密,高程按五等水准测量精度要求加密。

5.3.2 线路中线可采用全站仪坐标法和 GNSS RTK 等方法测设,并钉设中桩。

5.3.3 中桩测设应符合下列规定：

1 线路中线宜钉设公里桩和百米桩。直线上中桩间距不宜大于 50 m,曲线上中桩间距不宜大于 20 m。如地形平坦且曲线半

径大于 800 m 时,圆曲线内的中桩间距可为 40 m。在地形变化处或设计需要时,应另设加桩。

2 断链宜设在百米桩处,困难时可设在整 10 m 桩上。不应设在车站、桥梁、隧道和曲线范围内。

3 隧道进、出口和隧道顶应按专业要求加桩。

4 新建双线铁路在左右线并行时,应在左线钉设桩橛,并标注贯通里程。在绕行地段,两线应分别钉桩,并分别标注左右线里程。

5.3.4 全站仪坐标法中线测量应符合下列要求:

1 中线测量应采用标称精度不低于 $5''$ 、 $5\text{ mm}+10\times 10^{-6}D$ 的全站仪施测。

2 中桩一般应直接从平面控制点测设。特殊困难条件下,可从平面控制点上测设附和导线或支导线。支导线边数不应超过两条。

3 中桩至测站之间的距离不宜大于 500 m。

4 中桩桩位限差

纵向: $S/2\ 000 + 0.1$ (S 为转点至桩位的距离,以 m 计);

横向:0.1 m。

5 中桩高程可采用光电测距三角高程测量、水准测量。中桩高程宜观测两次,两次测量成果的差值不应大于 0.1 m。

5.3.5 GNSS RTK 中线测量应符合下列要求:

1 参考站宜设于已知平面高程控制点上。流动站至参考站的距离不宜超过 5 km。

2 求解基准转换参数时,公共点平面残差应控制在 1.5 cm 以内,高程残差应控制在 3 cm 以内。

3 放线作业前,应将流动站置于已知点上进行检核,平面坐标较差应小于 2 cm,高程较差应小于 4 cm,并存储记录检核结果。

4 重新设置参考站后,应对最后两个中桩进行复测并记录,

平面坐标互差应小于 7 cm,高程互差应小于 10 cm。

5 中桩放样坐标与设计坐标较差应控制在 7 cm 以内。

6 中线测量完成后,应输出下列成果:

- 1) 每个点的三维坐标;
- 2) 每个点的平面高程精度;
- 3) 每个放样点的横向偏差和纵向偏差。

5.4 横断面测量

5.4.1 横断面施测宽度和密度应根据地形、地质情况和设计需要确定,并应在公里桩、百米桩、断链桩、线路纵横向地形明显变化处测绘横断面。在大中桥头、隧道洞口、挡土墙等重点工程地段及不良地质地段,应按专业设计要求布测。

5.4.2 采用航测法测量横断面点时,测量横断面点的距离限差为 ± 0.3 m,高差限差为 ± 0.35 m。

5.4.3 采用全站仪法、GNSS RTK 法施测时,其检测限差应按下列公式计算:

$$\text{高差} \quad 0.1 \left(\frac{L}{100} + \frac{h}{10} \right) + 0.2(\text{m}) \quad (5.4.3-1)$$

$$\text{距离} \quad \frac{L}{100} + 0.1(\text{m}) \quad (5.4.3-2)$$

式中 h ——检测点至线路中桩的高差(m);

L ——检测点至线路中桩的水平距离(m)。

5.5 路基测量

5.5.1 路基测量包括路基横断面测量、路基改河改沟测量、路基施工放样、地基加固工程施工放样等内容。

5.5.2 路基横断面测量除满足本规范第 5.4 节的技术要求外,还应符合下列规定:

1 路基横断面施测宽度和密度,应根据地形、地质情况并结

合线路平、纵面图现场布置,满足路基设计方案的需求。

2 路基横断面间距一般为 20 m。在公里桩、百米桩和线路纵、横向地形明显变化、路堤、路堑的最低点和最高点以及大中桥头、隧道洞口、路基支挡及承载结构物起讫点等处,应测设横断面。

3 路基横断面测量宽度应根据路基中心填挖高程和边坡坡度确定,一般应测至路基边坡(堑顶或坡脚)外 10 m 以上。测量中遇有道路、水塘、沟渠、孤石、洞穴、钻孔、地类分界点以及其他地物等均要有测点,并标注在横断面图上。

5.5.3 路基改河改沟测量应根据纸上定线,现场核对两端接坡高程。对于长大、复杂和对农业水利有较大影响的河沟应根据改沟方案实地放线,实测纵横断面,测绘范围要延伸至原河沟床上下游各 30 m~50 m,以便接坡。

5.5.4 路基施工放样的边桩可采用全站仪坐标法或 GNSS RTK 法测设,测设边桩的限差不应大于 10 cm。挡土墙、护坡等工程施工放样的结构尺寸误差、基底及顶部高程限差均不应大于 5 cm。

5.5.5 路基加固工程施工放样可采用全站仪坐标法、GNSS RTK 法施测或在恢复中线的基础上采用横断面法。放样点位限差为 5 cm。

5.6 站场测量

5.6.1 站场测量包括站场基线测量,地形测量,横断面测量,通站(段、所、货场)道路测量,改移站内道路、河、沟渠测量等内容。

5.6.2 站场基线应根据设计需要测设,站场基线一般应平行于车场主轴,同一基线上的控制点不应少于 3 个,间距不应短于 100 m,控制点测量最大点位横向偏差不应大于 20 mm,方向偏差不应大于 10",纵向限差为 $S/10\ 000$ (S 为站场基线长度)。

5.6.3 站场横断面测量除满足本规范第 5.4 节的技术要求外,还应符合下列规定:

1 横断面施测宽度和密度,应根据地形、地质情况和车站设

计需要而定。一般情况下,每 100 m 内不得少于 4 个断面,平缓地段可适当减少,并应在正线公里桩、站路分界点、站内路桥和路隧分界点、线路纵横向地形明显变化的最高和最低处、站房、货场、平交道口等处测绘横断面。

2 进站疏解线路、联络线、动车段、机务段、车辆段、货场、货洗所、牵引变电所、供电段、材料厂等均应单独测绘横断面。

5.6.4 通站、段、所及货场道路一般在 1 : 2 000 的数字地形图上作纸上定线;对地形困难的应另测 1 : 500~1 : 1 000 的地形图作纸上定线;工程复杂的还应现场测定中桩、测绘横断面。

5.6.5 改移站内道路、河、沟渠按本规范第 5.5.3 条的要求执行。

5.7 专业调查测量

5.7.1 专业调查测量包括线路两侧工程影响范围内建筑物拆迁调查测量,道路、管线调查测量等。专业调查测量精度按专业设计要求确定。

5.7.2 管线调查测量内容应包括:管线类型、性质、走向、用途、材料、直径及附属设施、产权单位等,并实测其平面位置、埋深或净空。对于与线路交叉的管线,应测量交叉位置、交叉角度、交叉点悬高或埋深、杆塔高度及受影响的长度等。

5.7.3 与线路交叉的建筑物的调查测量要求如下:

1 与公路交叉应调查公路名称、等级、技术标准、路面结构类型、交叉处里程、排水和防护工程情况等,测量交叉角度、交叉点高程、纵坡坡度、路基宽度、路面宽度及厚度。

2 大型、复杂的交叉应根据需要测绘 1 : 500~1 : 2 000 比例尺地形图。

5.7.4 立体交叉及改移道路地段,应调查现有道路等级、路面材料及其所属单位。对地形困难、工程复杂的公路应按本规范第 5.3 节中线测量的要求现场钉桩,实测平面图及纵、横断面。

5.7.5 施工取土坑、弃土堆、施工便道和附属工程所占用的农田,

应标记农田的类别(水田、旱地、果园、菜地等)及所属的乡或村分界线,并按地形测量精度要求进行实地调查测绘。

5.7.6 施工需要拆迁、迁改的建筑物、电力及通信线路、地上(下)管线和水利设施、坟墓、果木及经济林木等,应进行实地调绘丈量,并列表填写建筑物类别、数量、面积及所属单位等。建筑物的尺寸可用皮尺丈量,读数至厘米。

5.8 控制网交桩及复测

5.8.1 线下工程施工前,由建设单位组织,设计单位向施工单位提交控制测量成果资料,监理单位应参加交接工作。现场交接 CP0、CP I、CP II 控制桩和线路水准基点桩,并履行交桩手续。

5.8.2 控制网交桩成果资料应包括下列内容:

- 1 CP0、CP I、CP II 控制点成果及点之记;
- 2 CP I、CP II 测量平差计算书;
- 3 线路水准基点成果及点之记;
- 4 水准测量平差计算书;
- 5 测量技术报告(含平面、高程控制网联测示意图)。

5.8.3 铁路工程建设期间,应加强控制网复测维护工作。控制网复测维护分为定期复测维护和不定期复测维护,定期复测维护由建设单位组织实施,不定期复测维护由施工单位实施。

5.8.4 定期复测维护是对铁路平面高程控制网的全面复测,复测内容包括 CP I、CP II 及线路水准基点。复测频次应满足下列要求:

- 1 施工单位接桩后,应对 CP I、CP II 和线路水准基点进行复测。
- 2 CP III 建网前,CP I、CP II 和线路水准基点应复测一次。
- 3 长钢轨精调前,CP I、洞内 CP II、线上加密 CP II、CP III、线路水准基点及线上加密水准点应复测一次。

5.8.5 施工单位应根据施工需要开展不定期复测维护,复测时间间隔不应大于12个月。

1 不定期复测维护内容包括 CP I、CP II、线路水准基点及施工加密控制点复测,检查控制点间的相对位置是否发生位移,点位的相对精度是否满足要求。

2 特殊地区、地面沉降地区或施工期间出现异常的地段,适当增加复测次数。

5.8.6 当发生地震、泥石流、滑坡等自然灾害引起大面积位移变化时,应对 CP0、CP I、CP II、CP III 和线路水准基点进行复测。

5.8.7 控制网复测应遵循下列原则:

1 编写复测工作技术方案或技术大纲。

2 复测采用的方法应与原控制测量相同,测量精度等级不应低于原控制测量等级。

3 复测前应检查标石的完好性,对丢失和破坏的控制点应按同精度内插方法恢复或增补。

4 CP I 控制网复测应采用 CP0 控制点及每 15 km~20 km 选择一个稳定可靠的 CP I 控制点作为已知点进行约束平差,约束平差前应对已知点的稳定性和兼容性进行检验。约束点间的相对精度应满足本规范表 3.2.1 的要求。

5.8.8 相邻标段控制网复测时,标段间搭接处应至少有 2 个平面控制点和 2 个线路水准基点作为共用桩。相邻标段施工单位均应对共用桩进行复测,复测完成后应签订共用桩协议,以确保各标段之间线下工程的正确衔接。

5.8.9 CP I、CP II 控制点复测的精度和要求应符合本规范相应等级的规定。复测评判标准如下:

1 采用 GNSS 法复测 CP I、CP II 控制点,在满足相应等级精度规定后,应进行复测与原测成果的分析比较。复测与原测成果较差应满足表 5.8.9—1、表 5.8.9—2 的规定。

表 5.8.9—1 GNSS 复测相邻点间坐标增量之差的相对精度限差

相邻点边长 S(m) 控制网等级	S≥800	500<S<800	S≤500
一等	1/160 000	1/120 000	1/100 000
二等	1/130 000	1/100 000	1/80 000
三等	1/80 000	1/60 000	1/50 000
四等	1/50 000	1/40 000	1/30 000
五等	1/30 000	1/25 000	1/20 000

注：

表中相邻点间坐标增量之差的相对精度按下式计算：

$$\frac{d_s}{S} = \frac{\sqrt{\Delta X_{ij}^2 + \Delta Y_{ij}^2 + \Delta Z_{ij}^2}}{S}$$

其中 $\Delta X_{ij} = (X_j - X_i)_{复} - (X_j - X_i)_{原}$

$\Delta Y_{ij} = (Y_j - Y_i)_{复} - (Y_j - Y_i)_{原}$

$\Delta Z_{ij} = (Z_j - Z_i)_{复} - (Z_j - Z_i)_{原}$

式中 S——相邻点间的二维平面距离或三维空间距离；

$\Delta X_{ij}, \Delta Y_{ij}$ ——相邻点 i 与 j 间二维坐标增量之差(m)；

ΔZ_{ij} ——相邻点 i 与 j 间 Z 方向坐标增量之差(m)，当只统计二维坐标增量之差的相对精度时该值为零。

表 5.8.9—2 GNSS 控制点复测平面坐标较差限差要求

控制网	控制网等级	坐标较差限差(mm)
CP I	二等、三等	20
	四等	25
CP II	三等、四等	15
	五等	20

注：坐标较差限差指 X、Y 平面坐标分量较差。

2 采用导线法复测 CP II 控制点，在满足相应等级精度规定后，应进行水平角、边长较差的分析比较，较差应符合表 5.8.9—3 的规定。

表 5.8.9—3 CP II 导线复测较差的限差

控制网	等级	水平角较差(″)	边长较差(mm)
CP II	隧道二等	3.6	2m _D
	三等	5	
	四等	7	
	一级	11	

注: m_D为测距中误差。

3 采用自由测站边角交会法复测 CP II 控制点时,在满足相应等级精度规定后,应进行复测与原测成果的分析比较。复测与原测成果较差应满足表 5.8.9—4 的规定。

表 5.8.9—4 CP II 自由测站边角交会法复测限差要求

铁路类型	轨道结构	列车设计速度 V	复测与原测坐标较差限差 (mm)	相邻点的复测与原测坐标增量较差限差 (mm)
客货共线铁路、重载铁路	无砟	120 km/h < V ≤ 200 km/h	$2\sqrt{m_{原}^2 + m_{复}^2}$	5.0
		V ≤ 120 km/h		7.0
	有砟	160 km/h < V ≤ 200 km/h		7.0
		120 km/h < V ≤ 160 km/h		8.5
		V ≤ 120 km/h		10.0
城际铁路	无砟	V = 160 km/h, V = 200 km/h		5.0
		V = 120 km/h		7.0
	有砟	V = 200 km/h		7.0
		V = 160 km/h		8.5
		V = 120 km/h		10.0

注:1 m_原为原测平面点位中误差; m_复为复测平面点位中误差。

2 坐标增量较差限差指 X、Y 坐标分量增量较差。

5.8.10 线路水准基点复测的精度和要求应符合本规范相应等级的规定。水准点间的复测高差与原测高差之较差应符合本规范表 4.2.1 中的检测已测测段高差之差的规定。

5.8.11 CPⅢ平面网复测应符合下列规定:

1 采用自由测站边角交会法复测 CPⅢ控制点时,在满足本规范第 3.9 节规定的测量精度要求后,应进行复测与原测成果的分析比较。复测与原测成果较差应满足表 5.8.11—1 的规定。

表 5.8.11—1 CPⅢ平面网自由测站边角交会法复测限差要求

铁路类型	轨道结构	列车设计速度 V	复测与原测坐标较差限差 (mm)	相邻点的复测与原测坐标增量较差限差 (mm)
客货共线铁路、重载铁路	无砟	$120 \text{ km/h} < V \leq 200 \text{ km/h}$	3.0	2.0
		$V \leq 120 \text{ km/h}$	4.5	3.0
	有砟	$160 \text{ km/h} < V \leq 200 \text{ km/h}$	4.5	3.0
		$120 \text{ km/h} < V \leq 160 \text{ km/h}$	6.0	4.5
城际铁路	无砟	$V = 160 \text{ km/h}, V = 200 \text{ km/h}$	3.0	2.0
		$V = 120 \text{ km/h}$	4.5	3.0
	有砟	$V = 200 \text{ km/h}$	4.5	3.0
		$V = 160 \text{ km/h}$	6.0	4.5
		$V = 120 \text{ km/h}$	7.5	6.0

注:坐标增量较差限差指 X、Y 坐标分量增量较差。

2 采用导线法复测 CPⅢ控制点时,在满足相应等级精度规定后,应进行 CPⅢ导线复测与原测水平角及边长的分析比较,其较差应满足表 5.8.11—2 的规定。

表 5.8.11—2 CPⅢ平面网导线法复测限差要求

控制网	水平角较差(″)	边长较差(mm)
CPⅢ	8	8

5.8.12 CPⅢ高程网复测时,在满足本规范第 4.8 节规定的测量精度要求后,应进行复测与原测成果的分析比较。复测与原测成

果较差应满足表 5.8.12 的规定。

表 5.8.12 CPⅢ 高程网复测限差要求

铁路类型	轨道结构	列车设计速度 V	复测与原测 高程较差 限差 (mm)	相邻点的复测 与原测高差 较差限差 (mm)
客货共线 铁路、 重载铁路	无砟	$120 \text{ km/h} < V \leq 200 \text{ km/h}$	3.0	2.0
		$V \leq 120 \text{ km/h}$	5.0	3.0
	有砟	$160 \text{ km/h} < V \leq 200 \text{ km/h}$	5.0	3.0
		$120 \text{ km/h} < V \leq 160 \text{ km/h}$	7.5	5.0
		$V \leq 120 \text{ km/h}$	10.0	6.0
城际铁路	无砟	$V=160 \text{ km/h}, V=200 \text{ km/h}$	3.0	2.0
		$V=120 \text{ km/h}$	5.0	3.0
	有砟	$V=200 \text{ km/h}$	5.0	3.0
		$V=160 \text{ km/h}$	7.5	5.0
		$V=120 \text{ km/h}$	10.0	6.0

5.8.13 复测成果与原测成果较差超限时,应进行二次复测,查明原因。控制网成果的采用应遵循下列原则:

1 施工单位接桩后复测及施工期间不定期复测:当 CP I、CP II 和线路水准基点较差满足本规范第 5.8.9 条、第 5.8.10 条规定时,采用原测成果。当确认原测与复测较差超限时,采用同精度内插方法更新成果。

2 CPⅢ建网前复测:当 CP I 和线路水准基点较差满足本规范第 5.8.9 条、第 5.8.10 条规定时,采用原测成果;当确认原测与复测较差超限时,采用同精度内插方法更新成果。CP II 控制点应全部采用复测成果。

3 长钢轨精调前复测:当 CP I、洞内 CP II、线上加密 CP II、线路水准基点及线上加密水准点较差满足本规范第 5.8.9 条、

第 5.8.10 条规定时,采用原测成果;当确认原测与复测较差超限时,采用同精度内插方法更新成果。CPⅢ控制点应全部采用复测成果。

5.8.14 复测完成后应编写复测报告。复测报告应包括下列内容:

- 1 任务依据、技术标准。
- 2 测量日期、作业方法、人员、设备情况。
- 3 复测控制点的现状及数量,复测外业作业过程及内业数据处理方法。
- 4 复测控制网测量精度统计分析:
 - 1) 独立环闭合差及重复基线较差统计;
 - 2) GNSS 自由网平差和约束平差后最弱边方位角中误差和边长相对中误差统计;
 - 3) 导线方位角闭合差、全长相对闭合差、测角中误差统计;
 - 4) 水准测量测段间往返测较差、附和水准路线高差闭合差、水准路线每千米水准测量偶然中误差统计。
- 5 复测与原测成果的对比分析:
 - 1) 平面控制网复测与原测坐标成果较差;
 - 2) GNSS 网复测与原测相邻点间坐标差之差的相对精度的比较;
 - 3) 导线复测与原测水平角、边长较差;
 - 4) 相邻水准点复测与原测高差较差。
- 6 需说明的问题及复测结论。

5.9 施工控制网加密测量

5.9.1 施工控制网加密测量可根据施工要求采用同精度内插的方法。施工控制网加密前,应根据现场情况制定施工控制网加密测量技术方案。

5.9.2 加密控制点应布设在坚固稳定、便于施工放线且不易破坏的范围内,并按本规范附录 B 的规定埋石。

5.9.3 施工平面控制网加密测量可采用导线或 GNSS 测量方法施测。导线加密测量应按本规范第 3.3 节中相应等级导线的精度要求施测；GNSS 加密测量应按本规范第 3.2 节中相应等级 GNSS 的精度要求施测。

5.9.4 施工高程控制网加密测量应起闭于线路水准基点，采用同精度内插的方法按相应测量等级要求施测。

5.9.5 施工控制网加密完成后，应提交下列成果资料：

- 1 技术方案；
- 2 加密测量成果；
- 3 外业测量观测数据资料；
- 4 平差计算书；
- 5 加密测量技术总结。

5.9.6 施工加密控制网复测应按本规范第 5.8 节的要求进行不定期复测。

5.10 线下工程竣工测量

5.10.1 在线下工程竣工后、轨道施工前，应进行线下工程竣工测量，评估线下工程施工是否满足轨道铺设条件的要求。测量内容包括线路中线贯通测量和横断面竣工测量。

5.10.2 线路中线贯通测量应以线路中线(双线时以左线)为基准进行测量，并应符合下列规定：

1 线路中线桩的设置应满足编制竣工文件的要求。中线上应钉设公里桩和百米桩；直线上中线桩间距不宜大于 50 m；曲线上中线桩间距宜为 20 m。在曲线五大桩、变坡点、竖曲线起终点、立交桥中心、桥涵中心、大中桥台前及台尾、每跨梁的端部、隧道进出口、隧道内断面变化处、车站中心、道岔中心、支挡工程的起终点和中间变化点等处均应设置加桩。

2 线路中线桩应利用 CPⅡ控制点或 CPⅢ控制点测设，桩位限差应满足纵向 $\leq S/20\ 000 + 0.02$ (S 为相邻中线桩间的距离，

以 m 计)、横向 ≤ 20 mm 的要求。

3 线路中线桩高程应利用线路水准基点或 CPⅢ控制点进行测量,中线桩高程测量中误差为:无砟轨道 ≤ 10 mm、有砟轨道 ≤ 20 mm。

5.10.3 线路横断面竣工测量应符合下列规定:

1 路基横断面可采用全站仪或 GNSS RTK 测量。路基横断面测点应包括路基面高程变化点、路肩、坡脚、堑顶等。路基面范围内各测点平面、高程测量中误差:无砟轨道不超过 ± 10 mm,有砟轨道不超过 ± 20 mm;路基面范围外坡脚、堑顶等各测点测量按本规范第 5.4.3 条的规定执行。

2 桥面横断面可采用全站仪或水准仪测量。桥面横断面测点应包括左右轨道中心线、桥梁中心线、挡砟墙脚和顶面。桥面范围各测点平面、高程测量中误差:无砟轨道不超过 ± 10 mm,有砟轨道不超过 ± 20 mm。

3 隧道竣工横断面应采用全站仪或断面仪测量,断面点应包括左右轨道中心线、隧道中心线、排水沟、电缆沟、内拱顶、起拱线以及轨顶以上 1.1 m、3 m、5.8 m 处的断面点。断面点测量中误差应不超过 ± 10 mm。

5.10.4 利用线路竣工平纵断面和横断面测量成果评估路基、桥梁和隧道等线下工程是否满足限界和设计要求。必要时应调整线路平纵断面设计,以满足轨道铺设要求。

5.10.5 线下工程竣工测量完成后,线下工程施工单位应向轨道施工单位提交测量控制网及线下工程竣工测量资料,并移交平面、高程控制点以及线路中线桩等桩橛。

6 隧道测量

6.1 一般规定

6.1.1 隧道施工平面控制测量应结合隧道长度、平面形状、辅助坑道位置以及线路通过地区的地形和环境条件,可采用 GNSS 测量、导线测量、三角形网测量及其组合测量方法。

6.1.2 当线路平面控制网不能满足隧道施工控制要求时,应建立隧道独立施工平面控制网。

6.1.3 隧道施工高程控制测量应起闭于隧道进出口线路水准基点,当线路水准基点精度不能满足要求时,应建立隧道独立施工高程控制网。

6.1.4 隧道两相向开挖洞口施工中线在贯通面上的横向和高程贯通允许误差应符合表 6.1.4 的规定。

表 6.1.4 隧道贯通允许误差

项 目	横向贯通允许误差							高程贯通允许误差
	$L < 4$	$4 \leq L < 7$	$7 \leq L < 10$	$10 \leq L < 13$	$13 \leq L < 16$	$16 \leq L < 19$	$19 \leq L < 20$	
相向开挖隧道长度(km)	$L < 4$	$4 \leq L < 7$	$7 \leq L < 10$	$10 \leq L < 13$	$13 \leq L < 16$	$16 \leq L < 19$	$19 \leq L < 20$	18
洞外贯通中误差(mm)	30	40	45	55	65	75	80	18
洞内贯通中误差(mm)	40	50	65	80	105	135	160	17
洞内外综合贯通中误差(mm)	50	65	80	100	125	160	180	25
贯通限差(mm)	100	130	160	200	250	320	360	50

注:本表不适用于利用竖井贯通的隧道。

6.1.5 隧道平面、高程控制网应根据隧道贯通误差要求进行测量设计:

1 隧道长度大于 2 km 时,应根据横向贯通中误差进行隧道平面控制测量设计,估算洞外控制测量产生的横向贯通误差影响值,并进行洞内控制测量设计。相向开挖长度大于 20 km 的隧道应进行专项平面控制设计。

2 洞内外水准路线总长度大于 6 km 时,应根据洞内、洞外水准闭合环产生的高差环闭合差进行高程控制网设计。当洞内外水准路线超过 150 km 时,应对水准测量精度进行专项设计。

6.1.6 洞外控制网与线路控制网的联测应符合下列规定:

1 当线路平面控制网(CP I、CP II)精度满足隧道控制测量要求时,可在线路控制网基础上扩展加密,建立隧道平面施工控制网。

2 当线路平面控制网精度不能满足隧道控制测量要求时,应建立隧道独立施工平面控制网,并将两端线路控制点(CP I、CP II)纳入一并观测,处理好与隧道两端线路控制网的衔接。

3 洞外高程控制测量应从隧道一端的线路水准基点联测至另一端的线路水准基点。

6.1.7 洞外控制网的布设应符合下列规定:

1 洞外平面控制网应沿两洞口连线方向布设成多边形组合图形,构成闭合检核条件。进、出口控制点应以直接观测边连接,构成长边控制网;增强图形强度。

2 控制点应布设在视野开阔、通视良好、土质坚实、不易被破坏的地方。

3 观测视线应距离障碍物 1 m 以上。通过水域、沙滩时,应适当增加视线高度。

4 地形困难、树林茂密的山岭测站,场地应进行清理和平整,以利于观测。

6.1.8 洞口控制点布设除应符合本规范第 6.1.7 条规定外,还应

符合下列规定:

1 每个洞口平面控制点和水准点布设,均不应少于 3 个。

2 向洞内传递方向的洞外联系边长度宜大于 500 m,困难时不宜短于 300 m。

3 GNSS 控制网进洞联系边最大俯仰角不宜大于 5° ,导线网、三角形网的最大俯仰角不宜大于 15° 。

4 洞口 GNSS 控制点应方便用常规测量方法检测、加密、恢复和向洞内引测。

5 洞口附近的水准点宜与隧道洞口等高,两水准点间高差以水准测量 1~2 站即可联测为宜。

6.1.9 洞口边角网、洞内导线控制网的观测按本规范第 3.3 节的要求执行。

6.2 初 测

6.2.1 初测阶段应根据专业设计要求对控制或影响线路方案的重点隧道工点进行测绘。

6.2.2 重点隧道的初测宜在线路初测平面、高程控制点基础上进行,当线路初测平面、高程控制点不能满足隧道初测要求时,应按本规范第 5.1 节的要求在隧道进出口两端、斜井洞口处布设必要的平面和高程控制点,并纳入线路平面、高程控制网。

6.2.3 重点隧道测量应满足下列要求:

1 洞口附近的线路中线及线路纵断面测量范围应满足专业设计需要,测量方法及精度按本规范第 5.3 节的要求执行。

2 根据专业设计需要测绘洞口横断面,洞口横断面应面向洞门施测,测量精度应满足本规范第 5.4 节的规定。

3 洞口 1:500 地形图以及相关改建工程(沟渠、道路)和其他工程(弃渣、排污处理)等的地形图,可采用摄影测量、全站仪数字化测图及 GNSS RTK 测图、激光雷达测量等方法测绘。测绘内容、测量精度应符合本规范第 5.2 节的规定。

6.3 定 测

6.3.1 根据线路设计方案,在线路中线测设的同时,应测设洞口(包括进、出口,斜井、竖井和辅助导坑洞口)附近线路中桩和洞口纵断面,并应符合下列规定:

1 洞口中桩间距不宜大于 5 m,测量范围应满足洞口设计要求,一般从洞口前 30 m 至仰坡顶天沟外 10 m~20 m。隧道顶应根据专业调查需要加桩。

2 洞口中桩测设精度按本规范第 5.3 节“中线测量”的精度要求。

6.3.2 按照隧道专业设计需要测绘洞口附近的横断面,洞口横断面应面向洞门施测,一般 5 m 左右测绘 1 个横断面,其宽度一般应测至边坡顶或坡脚外 10 m~15 m,测量精度应满足本规范第 5.4 节“横断面测量”的规定。

6.3.3 隧道纵断面图比例尺应根据设计要求确定(一般为 1:200~1:5 000),一般应测至洞口外 500 m,浅埋隧道应按设计要求现场实测。

6.3.4 洞身外侧过薄的傍山隧道或洞顶覆盖过薄的浅埋隧道,应根据设计需要实测隧道纵断面和洞身横断面。隧道纵断面按本规范第 5.3 节“中线测量”要求施测,洞身横断面按本规范第 5.4 节“横断面测量”要求施测。

6.3.5 利用初测阶段的 1:500 洞口地形图时,应进行现场核对和必要的修测和补测,对初测阶段没有地形图的隧道进出口、辅助坑道口及运营通风道口等应测绘 1:500 洞口地形图。地形测绘应符合本规范第 5.2 节“地形测量”的规定。

6.4 控制网技术设计

6.4.1 隧道控制网技术设计应包括控制网坐标系设计、洞外控制网设计和洞内控制网设计。

6.4.2 施工控制网平面坐标系可采用下列方式建立：

- 1 以进、出口端的线路控制点为约束基准的线路坐标系。
- 2 固定一点一方向的独立坐标系。
- 3 中线轴线法施工独立坐标系，以隧道长直线或曲线隧道切线(或公切线)为坐标轴的假定坐标系，原点纵坐标值宜与设计里程一致。

6.4.3 隧道洞外、洞内控制测量等级应符合下列规定：

- 1 隧道洞外、洞内平面控制测量应符合表 6.4.3—1 的规定。

表 6.4.3—1 隧道平面控制测量技术要求

测量部位	测量方法	测量等级	隧道长度 (km)	洞外定向边/洞内导线边长度 (m)
洞外	GNSS 测量 导线测量 三角形网测量	一等(GNSS)	8~20	≥400
		二等	4~8	≥350
		三等	2~4	≥300
		四等	<2	≥250
洞内	导线测量	二等	8~20	≥400
		隧道二等	5~8	≥350
		三等	2~5	≥300
		四等	1.5~2	≥200
		一级	<1.5	≥200

注：本表适用于相向开挖在中部贯通的隧道，对于相向开挖不在中部贯通的隧道，应进行专项设计。

2 隧道洞外、洞内高程控制测量精度等级应符合表 6.4.3—2 的规定。

表 6.4.3—2 隧道高程控制测量精度

铁路类型	轨道结构	列车设计速度 V	隧道洞外洞内水准路线总长度 (km)			
			<6	6~17	17~39	39~150
客货共线 铁路、 重载铁路	无砟	$120 \text{ km/h} < V \leq 200 \text{ km/h}$	二等			
		$V \leq 120 \text{ km/h}$	三等	精密	二等	
	有砟	$120 \text{ km/h} < V \leq 200 \text{ km/h}$	三等	精密	二等	
		$V \leq 120 \text{ km/h}$	四等	三等	精密	二等
城际铁路	无砟	$V=160 \text{ km/h}, V=200 \text{ km/h}$	二等			
		$V=120 \text{ km/h}$	精密			二等
	有砟	$V=160 \text{ km/h}, V=200 \text{ km/h}$	精密			二等
		$V=120 \text{ km/h}$	三等	精密	二等	

6.4.4 隧道平面控制测量设计应符合下列规定：

1 根据表 6.1.4 规定的洞外允许横向贯通中误差,结合隧道施工掘进方案和洞口布网条件,进行洞外平面控制网设计。

2 根据洞外控制测量结果估算贯通误差,验算洞外控制测量的横向贯通误差影响值。有条件时按控制点的不同组合优化选择引测进洞的联系边。

3 根据隧道允许横向贯通误差和洞外控制测量引起的横向贯通误差,设计洞内导线控制网的精度等级和网形。

6.4.5 隧道高程控制网精度设计应根据隧道洞外、洞内水准路线长度和轨道铺设精度统筹规划,并符合下列规定：

1 洞外、洞内高程路线组成高程闭合环,并应包含隧道两端洞口附近的线路水准基点,高程起算点应不少于 1 个线路水准基点。

2 根据洞外、洞内水准路线总长度和水准环闭合差限差小于隧道高程贯通极限误差的要求设计水准测量精度等级。

3 洞内水准测量应与洞外水准测量精度等级相同,并满足本规范表 4.7.4 规定的测量精度等级。

6.4.6 GNSS控制网应根据洞外控制测量精度估算隧道横向贯通中误差,验算洞外控制测量的横向贯通误差影响值。GNSS控制测量误差引起的隧道横向贯通中误差可按下列方法估算:

1 控制测量前,应按下式估算测量设计时的验前横向贯通中误差:

$$M^2 = m_j^2 + m_c^2 + \left(\frac{L_j \sin \theta \times m_{a_j}}{\rho} \right)^2 + \left(\frac{L_c \sin \varphi \times m_{a_c}}{\rho} \right)^2 \quad (6.4.6-1)$$

式中 m_j, m_c ——进、出口 GNSS 控制点坐标误差在贯通面上的投影长度;

L_j, L_c ——进、出口 GNSS 控制点至贯通点的长度;

m_{a_j}, m_{a_c} ——进、出口 GNSS 联系边的方位角中误差;

θ, φ ——进、出口控制点至贯通点连线与贯通点线路法线的夹角。

2 控制测量后,应按式(6.4.6-2)估算控制测量的验后横向贯通中误差。验后横向贯通误差应符合本规范表 6.1.4 的规定。

$$M^2 = \sigma_{\Delta x}^2 \cos^2 \alpha_F + \sigma_{\Delta y}^2 \sin^2 \alpha_F + \sigma_{\Delta x \Delta y} \sin 2\alpha_F \quad (6.4.6-2)$$

式中 $\sigma_{\Delta x}, \sigma_{\Delta y}, \sigma_{\Delta x \Delta y}$ ——由进、出口推算至贯通点的 x, y 坐标差的方差和协方差;

α_F ——贯通面方位角。

6.4.7 导线网、三角形网误差引起的横向贯通中误差可按下列方法估算:

1 控制测量前,应按下式估算测量设计时的验前横向贯通中误差:

$$M = \sqrt{m_{y\beta}^2 + m_{y1}^2} \quad (6.4.7)$$

其中

$$m_{y\beta} = \frac{m_\beta}{\rho} \sqrt{\sum R_x^2}$$

$$m_{y1} = \frac{m_1}{l} \sqrt{\sum d_y^2}$$

式中 $m_{y\beta}$ ——测角误差影响在贯通面上的横向中误差(mm)；
 m_{y_l} ——测边误差影响在贯通面上的横向中误差(mm)；
 m_β ——控制网设计的测角中误差(″)；
 R_x ——控制网各点至贯通面的垂直距离(m)；
 $\frac{m_l}{l}$ ——控制网设计的边长相对中误差；
 d_y ——控制网各边在贯通面上的投影长度(m)。

2 控制测量后,应按式(6.4.7)估算控制测量的验后横向贯通中误差。验后横向贯通误差应满足本规范表 6.1.4 的规定。

6.4.8 隧道洞外、洞内高程控制测量误差产生的高程贯通中误差应按下式计算：

$$M_{\Delta h} = M_\Delta \sqrt{L} \quad (6.4.8)$$

式中 $M_{\Delta h}$ ——洞外、洞内高程控制测量误差产生的高程贯通中误差(mm)；

M_Δ ——每千米水准测量偶然中误差(mm)；

L ——洞外或洞内高程路线长度(km)。

6.4.9 隧道洞外、洞内高程控制测量组成的高程闭合环闭合差限差应按下式计算：

$$W = 4M_\Delta \sqrt{L_{\text{洞外}} + L_{\text{洞内}}} \quad (6.4.9)$$

式中 $L_{\text{洞外}}$ ——洞外高程测量路线长度(km)；

$L_{\text{洞内}}$ ——洞内高程测量路线长度(km)。

6.5 洞外卫星定位测量

6.5.1 隧道洞外 GNSS 控制网的布设除应符合本规范第 6.1.7 条、第 6.1.8 条的要求外,还应符合下列规定：

1 GNSS 控制网应由洞口子网和子网之间的联系主网组成。洞口子网宜布设成大地四边形或三角形网,进洞联系边应为直接观测边。洞口间联系网可布设成四边形或大地四边形。当洞口子网采用 GNSS 测量困难时,可采用 GNSS 测量一条定向边,洞口子

网的其他控制点可采用全站仪测量。洞口控制点数量不应少于3个。

2 相向开挖长度超过8 km的隧道洞口引测边距离短于350 m时,应设置强制对中观测墩。

3 隧道进洞联系边测量的后视方向不得少于2个。

6.5.2 GNSS测量应根据本规范第6.4节确定的测量精度等级,按本规范第3.2节的要求施测。

6.5.3 完成洞外控制测量后,应采用控制网实际精度估算洞外控制测量引起的横向贯通误差,其估算值应满足测量设计要求。

6.6 洞外导线测量

6.6.1 洞外导线控制网的布设除应符合本规范第6.1.7条、第6.1.8条的规定外,还应符合下列要求:

1 导线网应布设成多边形闭合环,每个导线环由4~6条边构成,导线网图形应简单。

2 导线边长应根据隧道长度和辅助坑道的数量及分布情况,结合地形条件和仪器测程确定,宜采用长边导线。

6.6.2 控制网观测应选择成像清晰稳定的时间内进行。在地形和地面条件复杂、旁折光影响较大的地方,应选择最有利的观测时间进行观测。

6.6.3 观测洞口附近导线点时,应选取边长适中、俯仰角较小的边作起始方向边,并应选择有利的观测时间,避免或减少旁折光的影响。

6.6.4 水平角方向观测应按本规范表3.3.5的规定执行。

6.6.5 导线环角度闭合差的限差应按下式计算:

$$f_{\beta\text{限}} = 2m_{\beta}\sqrt{n} \quad (6.6.5)$$

式中 m_{β} ——测量设计确定的测角中误差(");

n ——导线环的内角个数。

6.6.6 导线测角中误差应按本规范式(3.3.7)估算。计算的测角中误差应符合测量设计的精度要求。

6.6.7 导线网平差计算应符合下列规定：

1 二、三、四等导线网采用严密平差计算。

2 严密平差时，导线网的方向和边长观测值的权可按式(6.6.7)计算，也可按方差分量估计的方法定权。

$$\left. \begin{aligned} P_{\gamma} &= 1 \\ P_D &= \frac{m_{\gamma}^2}{m_D^2} \end{aligned} \right\} \quad (6.6.7)$$

式中 m_{γ} ——方向测量中误差，按控制网设计精度取值；

m_D ——控制网边长中误差。

6.6.8 洞外导线控制测量完成后，应按本规范式(6.4.7)估算洞外控制测量引起的贯通误差，其估算值应满足本规范表 6.1.4 的规定。

6.7 洞外高程控制测量

6.7.1 洞外高程控制测量应根据本规范第 6.4 节确定的精度等级，按本规范第 4 章的规定执行。

6.7.2 二等高程控制测量应采用水准测量，当水准路线绕行长度大于 4 倍隧道长度时，可采用精密光电测距三角高程测量。三等及以下可采用水准测量或光电测距三角高程测量。

6.7.3 高程控制测量路线选择应满足下列规定：

1 水准路线宜根据隧道进出口间的地形起伏情况遴选。

2 光电测距三角高程测量路线应避开大面积水域、荒漠、公路、铁路等，沿隧道中线遴选。

6.7.4 各等级水准测量的限差应符合本规范表 4.2.1 的规定。

6.8 洞内平面控制测量

6.8.1 洞内导线应从洞外联系边引入，进洞导线点的后视方向

不得少于 2 个。对于导线环或交叉导线,宜采用双线路向洞内引测。

6.8.2 洞外联系边引入前,应用全站仪同精度检测洞口子网控制点间的角度和边长。全站仪检测 GNSS 控制网的角度和边长较差应符合表 6.8.2 的规定。

表 6.8.2 全站仪检测 GNSS 角度和边长较差限值

GNSS 测量等级	隧道长度(km)	角度较差(″)	边长较差(mm)
一等	8~20	3	$\sqrt{2}\sigma$
二等	4~8	4	
三等	2~4	5	
四等	<2	6	

注:表中 σ 按本规范式(3.2.2)计算。

6.8.3 洞内导线的布设应符合下列要求:

1 洞内导线边长应按测量设计的长度布设,当边长短于 200 m 时,应采取补强措施。

2 洞内导线宜布设成多边形闭合环,每个导线环由 4~6 条边构成。长隧道宜布设成交叉双导线环,交叉双导线的点位宜前、后错位布设。

3 导线点应布设在施工干扰小、稳固可靠、便于设站及保存的地方。视线应旁离洞壁或洞内设施 0.2 m 以上。

4 平行双洞隧道宜在两隧道间横通道处布设导线点进行联测,构成导线网。

6.8.4 斜井、横洞、平导等通过短边向正洞传递方位时宜采取强制归心、网形补强等措施,也可采用多公共点侧方边角交会的形式传递短边方位,有条件时按竖井定向测量要求加测陀螺定向边。

6.8.5 洞内平面控制网也可采用隧道洞内 CP II 自由测站边角交会测量方法施测。

6.8.6 导线测量应符合下列要求:

1 洞口测站观测宜在夜晚或阴天进行。

2 洞内观测宜采用仪器和棱镜多次置中、变换仪器高和棱镜高的方法进行。交叉导线测量时,左右棱镜宜采用高低棱镜架设。

3 仪器和棱镜面无水雾,棱镜应有适度的照明、目标清晰,避免光线从旁侧照射目标。

6.8.7 高瓦斯隧道洞内测量时应采取安全可靠的防爆措施,必要时采用防爆仪器进行观测。

6.8.8 洞内导线应随施工进度分期、分段布设。建立新一期导线前,应对原导线点进行检测。

6.8.9 隧道单向掘进每隔 5 km 左右宜采用不低于 5"级的陀螺仪加测定向边,当陀螺边方位角与洞内导线边坐标方位角之差大于 15"时,应进行分析检查。

6.8.10 洞内导线平差计算后,应计算并测设开挖面附近的临时中线点,纠正施工中线。

6.8.11 隧道仰拱施工后应恢复洞内测量控制点,每 1 km 至少保留 1 个洞内施工控制导线点供洞内 CP II 测量使用。

6.9 洞内高程控制测量

6.9.1 洞内高程控制测量宜采用水准测量进行往返观测,并应每隔 200 m~500 m 设置一对水准点,测量设计的洞内高程控制精度在三等及以下时,可采用光电测距三角高程测量。

6.9.2 洞内高程控制测量应符合下列规定:

1 洞内高程控制测量的主要技术要求及观测限差应符合本规范表 4.2.2、表 4.2.6 的规定。

2 洞内高程控制测量应按本规范式(4.1.1—1)进行精度计算。

3 平行双洞隧道宜在两隧道间横通道处进行高程联测,构成

闭合路线。

6.9.3 洞内水准点应结合地质条件、施工方法和施工进度进行定期复测。建立新一期水准点前,应按本规范第 4.2.1 条检测起算高程点。

6.10 洞外控制网复测

6.10.1 隧道施工前,应对洞外施工控制网进行全面复测。施工期间应进行定期复测,复测周期为 1 次/年。当发生下列情况时,应进行局部或全面复测:

- 1 发生突发情况(如地震等地质灾害)。
- 2 控制点有位移或沉陷时。

6.10.2 定期复测应采用整网测量方式,对隧道进、出口和各辅助坑道口的控制点进行全面复测,采用整体平差成果评价控制点的稳定性。

6.10.3 隧道洞外施工控制网复测应符合下列规定:

1 复测前应检查标石的完好性,对丢失或破坏的标石应按原测标准增补。

2 复测方法应与原测保持一致,复测精度不应低于原测精度。

3 复测网平差宜选用隧道进、出口稳定控制点进行约束平差。

6.10.4 复测与原测成果的较差应满足下列规定:

1 复测坐标与原测坐标较差应小于 15 mm。

2 GNSS 整网复测相邻点间坐标增量之差的相对精度限差应满足本规范表 5.8.9—1 的规定。

3 洞口 GNSS 子网复测应反算控制点间角度、边长,反算值与原测的较差应符合表 6.10.4—1 的规定。

表 6.10.4—1 隧道洞口子网复测角度、边长较差限差

等 级	角度较差(")	边长较差(mm)
一等	4	$2\sqrt{2}\sigma$
二等	5	
三等	6	
四等	7	

注:表中 σ 按本规范式(3.2.2)计算。

4 导线、三角形网复测洞外控制点,水平角、边长较差应满足表 6.10.4—2 的规定。

表 6.10.4—2 导线、三角形网复测较差的限差

等 级	水平角较差(")	边长较差(mm)
二等	2.8	$2m_D$
隧道二等	3.6	
三等	5.0	
四等	7.0	

注:表中 m_D 为测距中误差。

6.10.5 施工控制网水准点复测应按高差比较法检查,水准点间的复测高差与原测高差较差应符合本规范表 4.2.1 的规定。

6.10.6 复测较差符合规定要求时,采用原测成果。当较差超限或需增补新点时,应在提交的复测成果中说明。复测较差超限时,应进行二次复测,查明原因,并分析、确认采用的成果。

6.10.7 复测工作完成后,应提交下列资料:

- 1 控制网复测技术方案。
- 2 控制网复测成果表。
- 3 控制网复测技术总结报告。
- 4 平差处理计算资料。
- 5 外业测量原始观测数据电子文件。

6.11 施工测量

6.11.1 施工中线测设应符合下列规定：

1 采用导线测设中线点，一次测设不应少于 3 个，并相互检核。

2 衬砌用的临时中线点宜每 10 m 加密一点。直线上应正倒镜压点或延伸，曲线上可用坐标法测设。

3 掘进用的临时中线点可采用串线法延伸标定。串线长度直线段不应大于 30 m，曲线段不应大于 20 m。

4 全断面开挖的施工中线可先用激光导向，后用全站仪测定。

5 采用上下半断面施工时，上半断面每延伸 90 m~120 m 时应与下半断面的中线点联测，检查校正上半断面中线。

6.11.2 洞内施工高程测量应符合下列规定：

1 洞内施工高程测量应根据洞内已设的水准点引测加密。加密点可与洞内导线点共桩。

2 采用光电测距三角高程进行测量时，宜变换棱镜高测量两次或利用加密点作转点附合到已知高程点上。

6.11.3 隧道洞内开挖测量应按下列要求进行：

1 每次钻爆前，应在开挖断面上标示开挖断面轮廓线。

2 在已开挖段，应及时测量开挖断面，绘制开挖断面图，测量断面间距不应大于 10 m。

3 断面测量可采用断面仪法、全站仪坐标法或三维激光扫描法等方法，测量中误差不应大于 25 mm。

6.11.4 衬砌测量应按下列要求进行：

1 立模前，应检查隧道中线点位置及高程。检测与原测成果较差不应大于 5 mm。

2 检测合格后，在立模范围内放设不少于 3 个中线点及其横断面十字线方向，同时在断面上标定出拱架顶、起拱线和边墙底的

高程位置。

3 立模完成后应检查校正模板。

4 拆除模板后应及时检测隧道衬砌断面净空尺寸,测量中误差不应大于 10 mm。

6.12 竖井联系测量

6.12.1 竖井联系测量应包括井上井下趋近导线测量、竖井定向测量、高程传递测量、井上井下趋近水准测量。联系测量应符合下列规定:

1 隧道贯通前,联系测量工作不应少于 3 次,宜在隧道掘进到 100 m~300 m 时,进行第 1 次联系测量。

2 当隧道掘进到预计贯通面长度的 1/3 时,进行第 2 次联系测量。

3 当隧道掘进到预计贯通面长度的 3/4 时,应进行第 3 次联系测量。

4 取各次测量成果的平均值作为后续测量的起算数据。

6.12.2 竖井定向测量可采用垂准仪和陀螺经纬仪联合定向、联系三角形定向、钻孔投点定向、导线直接传递等方法。当通过竖井开挖的隧道掘进长度达到 150 m~200 m(两侧合计)时,宜加测陀螺定向边。每次联系测量后,宜在终边加测陀螺定向边。

6.12.3 高程传递测量宜采用钢尺(钢丝)法、光电测距三角高程法、全站仪导高法。

6.12.4 垂准仪与陀螺经纬仪联合定向测量应满足下列要求:

1 井上、井下定向测量应与井上、井下趋近导线测量连续进行。从井上近井点通过竖井定向,传递到井下近井点的坐标相对井上近井点的限差应在 ± 5 mm 之内。

2 井下陀螺经纬仪定向边不应少于 2 条,并应对井下定向边之间的角度进行检核。

3 垂准仪投点应符合下列规定:

- 1) 水准仪的支承台架与观测台应严格分离。
- 2) 水准仪的旋转纵轴应与棱镜旋转轴同轴,其偏心误差应小于 0.2 mm。
- 3) 投点时,至少应分别在 180°方向上两镜位对点。每一镜位至少应分别在 180°方向上两镜位投点,取中确定投点位置,以减弱对点和投点误差。
- 4) 全站仪独立三测回测定水准仪纵轴的坐标互差应小于 3 mm。

4 根据贯通长度和精度要求分别选择标称精度不低于 $\pm 5''$ 、 $\pm 10''$ 的陀螺仪器。陀螺经纬仪定向测量应符合下列规定:

- 1) 陀螺经纬仪定向宜采用手动逆转点法、中天法等,也可采用半自动或全自动定向方法。定向测量应采用“地面已知边—地下定向边—地面已知边”的测量程序。每条定向边测量不应少于三测回,宜独立定向测量两次。
- 2) 陀螺经纬仪独立三测回零位较差不应大于 0.2 格。绝对零位偏移大于 0.5 格时,应进行零位校正,观测中的零位读数大于 0.2 格时应进行零位改正;测前与测后零位互差不得大于 0.2 格。
- 3) 测前、测后三测回测定的陀螺经纬仪常数平均值较差,根据仪器精度不应大于 8''、15''。
- 4) 独立测回间的陀螺方位角较差,根据仪器精度不应大于 15''、30''。
- 5) 陀螺定向边方位角应对向观测,并进行子午线收敛角改正后取均值。
- 6) 两条陀螺定向边之间的角度与全站仪实测角度值较差,根据仪器精度应小于 10''、18''。

5 全站仪测角精度不应低于 2'',测距精度不应低于 $2\text{ mm} + 2 \times 10^{-6} D$ 。

6 陀螺经纬仪作业注意事项:

- 1) 陀螺定向测量时应尽量减少周围环境振动影响。
- 2) 洞口导线观测必须选在无风时间,洞内及井下应尽量选择远离高压线以减少电磁场干扰,并暂时停止送风以减小气流影响。
- 3) 启动陀螺马达达到额定转速之前和制动陀螺马达的过程中,陀螺灵敏部必须处于锁定状态,防止悬挂带导流丝受损伤。
- 4) 在陀螺灵敏部处于锁定状态,马达又在高速旋转时,严禁搬动和水平旋转仪器。
- 5) 陀螺仪在搬运时要防止颠簸和振动。

6.12.5 联系三角形定向测量应符合下列规定:

1 每次定向应独立进行三次测量,取三次的平均值作为一次定向成果。

2 井上、井下联系三角形应按附录 I 的要求布设,两悬吊钢丝间的距离不应小于 5 m,井上、井下测站点至两钢丝方向的夹角宜小于 1° ,井上、井下测站点到较近钢丝点的距离与两钢丝间的距离之比宜小于 1.5。

3 联系三角形边长可用全站仪测量,也可用检定过的钢尺测量。钢尺测量估读至 0.1 mm。每次应独立测量三测回,每测回读数三次,各测回间较差井上应小于 0.5 mm,井下应小于 1.0 mm。井上、井下测量两钢丝间的距离较差应小于 2 mm。

4 水平角应采用 2'' 级及以上经纬仪按方向观测法观测四测回,测角中误差应小于 4''。

5 各测回测定的井下起始边方位角较差不应大于 $20''$,方位角平均值中误差不应超过 $\pm 12''$ 。

6.12.6 高程传递测量应符合下列规定:

1 高程传递测量应与井上、井下趋近水准测量同时进行。

2 用于高程传递的近井高程点不应少于 2 个,以检核井下高程传递结果。

- 3 采用悬吊钢尺(钢丝)法传递高程应满足下列要求:
 - 1) 悬吊钢尺用的重锤重量应与钢尺检定时的重量相同。
 - 2) 井上和井下安置的两台水准仪应同时读数。
 - 3) 每次应独立观测三测回,每测回变动仪器高度,三测回测得井上、井下水准点的高差较差应小于 3 mm。
 - 4) 各测回测定的高差应进行温度和尺长改正。当井深超过 50 m 时,应进行钢尺自重张力改正。
- 4 采用全站仪导高法传递高程应符合下列规定:
 - 1) 将全站仪安置在井下投点处,在井上投点处安置棱镜,测量井下投点至井上棱镜间的距离。
 - 2) 在井上水准点处架设棱镜,在距离水准点和井上投点距离大致相同处安置全站仪,采用全站仪中间法三角高程测量水准点至井上投点间的高差。
 - 3) 全站仪导高应独立测量不少于 2 次,其互差不应大于 $H/10\ 000$, H 为传递高差。

6.13 贯通误差的测定及调整

6.13.1 两相向开挖隧道贯通后,实际贯通误差应按下述方法测定:

1 采用中线法测量隧道纵、横向贯通误差时,应根据进口端和出口端导线分别将贯通面里程点放设在实地上,量取两放样点在路线横向和纵向上的距离,即为横向和纵向贯通误差。

2 采用导线法测量隧道纵、横向贯通误差时,应在贯通面附近设一贯通点连接进、出口导线,由两端导线分别测量该点的坐标,其坐标较差分别投影至线路切向与法向上,即为纵向和横向贯通误差;测量贯通点的水平角,由两端导线分别计算出与贯通点相连的同一条导线边的方位角,其方位角较差即为方位贯通误差。

3 由两端高程点分别测量贯通面处同一个点的高程,高程差即为高程贯通误差。

6.13.2 贯通误差调整应以满足线路设计规范和轨道平顺性要求为原则,调整后的隧道中线应满足建筑限界要求。实际贯通误差宜在未衬砌地段(调线地段)调整;当不影响已衬砌段的建筑限界时,调整范围可伸入已衬砌段。

6.13.3 直线隧道的平面贯通误差调整应符合下列规定:

1 采用坐标法施工测量的直线隧道应优先采用平差法调整。

2 采用中线法施工测量的直线隧道可采用折线法调整,满足增设大半径曲线要求时应增设大半径曲线;无法增设大半径曲线时,应采用顶点内移法确定线路中线位置。

6.13.4 曲线隧道的平面贯通误差调整应符合下列规定:

1 采用坐标法施工测量的曲线隧道应优先采用平差法调整。

2 当采用平差法不能满足轨道平顺性要求和有关验收标准及建筑限界要求时,可采用增减圆曲线长度、改变曲线起终点、增设曲线等方法调整贯通误差。

6.13.5 平面贯通误差调整后,应测量调整范围内控制点与中线及衬砌断面特征点的横向位置相对关系,并评估调整后的隧道中线是否满足建筑限界要求。

6.13.6 高程贯通误差应按下列方法调整:

1 高程贯通误差采用平差法调整。

2 以调整后的水准点高程作为未衬砌段高程放样的依据。

6.13.7 调线地段的开挖和衬砌均应以调整后的中线和高程进行放样。

6.14 隧道竣工测量

6.14.1 隧道竣工测量包括洞内 CP II 控制网测量、水准贯通测量、中线贯通测量和横断面测量。

6.14.2 隧道长度大于 800 m 的隧道竣工后,应按本规范第 3.8 节的要求进行洞内 CP II 控制网测量。

6.14.3 隧道水准贯通测量应满足下列要求:

1 洞内水准点每千米埋设 1 个,水准路线起闭于隧道进、出口两端的线路水准基点,按相应等级水准测量要求施测。

2 当洞内水准贯通高差闭合差满足相应等级复测限差时,以隧道进、出口两端的水准点为固定点进行高程平差。当洞内水准贯通高差闭合差不满足要求时,应将水准路线向隧道外两端延伸,使之满足复测限差要求后,固定两端点的高程,对该段水准路线进行约束平差,并调整平差范围内的水准点,消除隧道高程断高。

6.14.4 洞内 CP II 测设完成后,应以洞内 CP II 控制点为基准,进行隧道线路中线贯通测量,并检查隧道线路中线是否侵界。隧道线路中线贯通测量按本规范第 5.10.2 条的规定执行。

6.14.5 隧道净空断面可采用全站仪、断面仪或三维激光扫描仪进行测量,断面点测量中误差不应大于 10 mm。断面测量应符合下列规定:

1 直线地段每 50 m、曲线地段每 20 m 以及其他需要的地方均应测量净空断面。

2 净空断面测量以线路中线为准,测量内拱顶高程、起拱线宽度以及轨顶以上 1.1 m、3 m、5.8 m 处的宽度。

6.15 资料整理及成果提交

6.15.1 原始观测记录和计算成果应记录真实、注明明确、计算清楚和格式统一。纸质成果应装订成册,电子成果应拷贝或刻录光盘并做好记录。两种成果均应长期保管。

6.15.2 原始观测和记事项目应在现场记录清楚,注明观测者、记录者、观测日期、起迄时间、气象条件、使用的仪器等。纸质记录不得涂改或补记,各记录须编列页次。

6.15.3 记录、计算的取位应符合本规范表 3.10.3、表 4.9.6 的规定。

6.15.4 提交的测量成果应包含下列内容:

1 技术设计书;

- 2 平差计算书；
- 3 点之记；
- 4 控制点成果表；
- 5 控制网示意图；
- 6 实际贯通误差及其调整成果；
- 7 技术总结。

7 桥 涵 测 量

7.1 一 般 规 定

7.1.1 桥涵测量分为一般桥涵测量和复杂特大桥及重要大桥测量。一般桥涵指一般特大桥、一般大桥、中桥、小桥和涵洞；复杂特大桥及重要大桥指水面较宽且有高墩、大跨、深水基础或基础施工难度较大，梁部结构类型复杂，要求测量定位、放样精度较高的特大桥、大桥。

7.1.2 桥涵测量应在线路控制网(CP I、CP II 和线路水准基点)基础上进行。当线路控制网尚未建立或有其他特殊需要时，应按本章要求先行建立桥址测量控制网。复杂特大桥及重要大桥应建立独立的施工平面、高程控制网。

7.1.3 桥梁测量工作开展前宜按下列要求收集桥址区域已有的测量资料：

1 近期各种比例尺的地形图及其所属坐标、高程系统。

2 国家和地方的 GNSS 点、三角点、导线点和水准点数据及系统间的换算关系。

3 与桥梁相关的铁路、公路、水文、水利、电力及航运等部门高程数据及系统间的换算关系。

7.1.4 桥梁工程勘测设计各阶段测量宜采用与线路一致的坐标系。复杂特大桥及重要大桥施工控制网应采用满足桥梁施工需要的桥梁施工独立坐标系。

7.1.5 桥梁施工独立坐标系的位置基准和方位基准应符合下列规定：

1 基于国家或线路坐标系统的桥梁施工独立坐标系：以施

工控制网中一个稳定的控制点(宜为桥中线点)的国家或线路坐标作为起算坐标,以该点至另一点(宜为桥中线点)在国家或线路坐标系中的坐标方位角为起始方向。

2 桥址里程坐标系统:以桥轴线为坐标纵(X)轴,里程增加方向为正向;与 X 轴垂直的方向为坐标横(Y)轴, X 轴左侧为负,右侧为正;选定桥轴线上较为稳定的一点作为坐标起算点,其里程值即为 X 值。

7.1.6 桥梁施工独立坐标系的尺度基准应采用下列方法建立:

1 当国家或者线路控制网的可靠性、兼容性良好,尺度满足桥梁控制网的要求时,可将已知点确定的尺度作为桥梁控制网的尺度基准。

2 采用卫星定位测量方法测定的长度作为控制网的尺度基准,取桥址测区中心处的经线作为中央子午线,以桥梁墩(台)顶或轨顶平均高程面作为坐标投影面。

3 采用精密光电测距方法测量网中的一条长边,归化到桥梁墩(台)顶或轨顶平均高程面上,建立平面控制网的尺度基准。

7.1.7 桥址里程系统宜与线路里程系统一致。当采用假定里程系统时,必须与线路里程系统进行联测并确定换算关系。

7.1.8 桥址控制点应按下列规定进行联测:

1 两岸桥址控制点应与线路控制网联测,并宜与国家、地方控制点进行联测。

2 当线路测量已先行通过桥址时,桥位两端的线路控制点应纳入桥梁施工控制网,并计算里程和高程的换算关系。

7.2 桥址控制测量

7.2.1 桥址控制测量适用于桥梁设计阶段的勘测,满足初测、定测和补充定测阶段中定线、断面、水文、地形等测量工作的控制需要。

7.2.2 桥址平面控制测量应结合桥梁长度、平面形状和地区地

形环境等条件,选用 GNSS 测量、三角形网测量或导线测量等方法。

7.2.3 桥址高程控制测量可采用水准测量或光电测距三角高程测量方法施测,五等高程测量可采用 GNSS 高程测量方法。

7.2.4 桥址平面控制测量和高程控制测量等级可根据跨河桥长确定,不应低于表 7.2.4 的规定。

表 7.2.4 桥址平面控制测量和高程控制测量等级

跨河桥长(m)	>3 000	≤3 000
平面控制测量	三等	四等
高程控制测量	四等	五等

注:跨河桥长系指跨越江河、湖海的正桥桥长。

7.2.5 桥址平面控制网的选点布网应符合下列规定:

1 控制点应选在地面基础稳定、视野开阔、交通方便和便于使用的地方。所有控制点必须能控制全桥(包括正桥和引桥)测绘区域。

2 相邻控制点间宜相互通视,便于次级网点的加密及碎部测量使用。

3 控制点间距以满足加密控制或碎部测量的需要为原则确定。

7.2.6 桥址两岸各应设置不少于 2 个水准点,并应设在土质稳定、安全隐蔽和便于联测的地方。

7.2.7 控制点应按本规范附录 B 的规定埋设标石。

7.2.8 桥址水准点与桥梁工程有关的水准点间的联测,均应符合四等水准测量要求。中线桩或导线点高程,应按五等水准测量或光电测距三角高程测量精度测定。

7.2.9 桥梁跨越江河、湖海、深沟等障碍物时,应按本规范第 4.5 节的规定进行跨河水准测量。

7.2.10 利用 GNSS 静态观测数据进行高程拟合时,应符合本规

范第 4.6 节的规定。

7.2.11 控制网观测、计算及资料整理应符合本规范第 3 章、第 4 章的有关规定。

7.3 桥址水文测量

7.3.1 桥渡水文调查和测绘内容以及历史洪痕的考证标准应符合现行《铁路工程水文勘测设计规范》TB 10017 的有关规定。

7.3.2 洪水位点高程应按不低于五等水准测量要求施测,其较差限值为 2 cm,使用光电测距三角高程测量代替水准测量时应符合本规范第 4.3 节的规定。洪水位点平面位置可采用全站仪或 GNSS RTK 法测定,其限差不应大于距离的 1/100。

7.3.3 水文复杂的桥渡和需要进行水文试验的河段应测绘水文平面关系图,亦可利用桥位方案平面图或既有地形图核对补充后绘制,测绘内容应符合现行《铁路工程水文勘测设计规范》TB 10017 的规定,测量方法和精度应符合本规范第 5.2 节的有关规定。

7.3.4 水面坡度测量应符合下列规定:

1 桥渡水面坡度的施测长度应根据洪水位点的分布情况、水文断面的位置和河段水文特征等情况确定,且不应小于 3 倍河宽。水面坡度特别平缓时,其施测长度应满足上、下游的水面高差不小于 0.1 m~0.3 m 的要求。水面坡度的测点间距宜为 20 m~50 m,最大不应大于 100 m。

2 河道水面坡度可沿一岸施测。当设计需要时,应加测另一岸水面坡度。测点间距宜为 100 m~300 m,当水面坡度有突变时应加密测点。测量精度应符合本规范第 7.3.2 条的规定。

7.3.5 水文断面宜选在水流顺直、河床稳定的河段上,宜利用桥址纵断面作为水文断面。当桥址纵断面的法线与水流交角超过 10° 时,应在其上游或下游选择与水流正交的水文断面。当需要进行河段水文试验时,水文断面的间距应根据实际需要和现场情况

确定,平原地区河流不宜大于 10 km,山区河流不宜大于 5 km。在线路限制坡度地段、重大工点、重点防护工程以及有较大支流汇入处,均应加测水文断面。

7.3.6 水文断面上必须设立基本水尺。为测得洪水过程的水面坡度,应在水文断面的上、下游设立水尺或钉设临时桩。主要桥址断面处应设立基本水尺,必要时还应设立纵、横比降水尺。纵比降水尺的间距不应小于表 7.3.6 的规定。水尺零点的高程应用水准仪或光电测距三角高程方法施测,其精度不应低于四等水准测量要求。

表 7.3.6 纵比降水尺间距

每千米水面落差(mm)	500	200	130	80	60	50
纵比降水尺间距(m)	100	300	500	1 000	1 500	2 000

7.3.7 桥涵水位观测应符合下列规定:

1 对于水位涨落急剧河流,应增加观测次数,并绘出水位洪峰过程线。附近有水文观测单位时,观测次数和时间应与其取得一致。

2 对于潮汐影响较大的桥渡应观测潮水位,一般每隔 1 h 观测一次,昼夜不间断;涌潮时应加密到每隔 5 min 甚至更短时间观测一次。

7.3.8 水文断面应测至历史洪水位 0.5 m 以上,断面测量应符合下列规定:

1 断面测点的距离可采用 GNSS RTK、全站仪坐标法或前方交会法等方法测定,断面测点至起始点距离最大误差不应大于距离的 1/100。

2 水面以上断面测点的高程应采用水准仪、光电测距三角高程或 GNSS RTK 方法施测,测点高程的检测限差为 0.1 m。

3 水下断面测点的高程测量应符合下列规定:

1) 断面测深开始及结束均应测定断面处的水面高程。当

水位涨落较快时,应定时测定水面高程。

- 2) 测深垂线的布置应能控制河床变化的转折点,主槽部分应较河滩为密,测深垂线的间距应符合表 7.3.8 的规定。

表 7.3.8 水文断面测深垂线最大间距

水面宽(m)	<50	50~100	100~300	300~1 000	>1 000
最大间距(m)	3~5	5~10	10~20	20~50	50

- 3) 水深测量应根据水深、流速及河床地质的情况,选用测深杆、测深锤、回声测深仪等工具或设备进行测量。测深前应对测深工具或设备进行检校。

7.3.9 流速测验宜优先采用流速仪法,流速仪测速应符合下列规定:

1 流速仪应定期检定,测速前应检查流速仪的灵敏度及运转情况。

2 水文断面上的测速垂线数,主槽应较河滩为密,分布应大致均匀。河滩上有独股水流时亦应加密。主河槽范围内测速垂线数应符合表 7.3.9—1 的规定。在平坦开阔的河滩上,每千米泛滥宽度的垂线数不应小于 4 条。

表 7.3.9—1 测速仪测速垂线数

水面宽度(m)	<100	100~300	300~600	600~1 000	>1 000
垂线数目(条)	3~5	7	9	11	≥13

3 测速垂线上的测点分布应符合表 7.3.9—2 的规定。当水位变化很快时,应自水面向河底依次测量垂线上各点的流速。在抢测洪峰流量或在水情特殊时,可不受水深的限制,采用一点法(包括水面一点法)测速。

表 7.3.9—2 测速垂线上测点的分布

垂线上水深 h (m)	垂线上测点数目和位置
<1	1 点(0.6 h)
1~3	2 点(0.2 h 、0.8 h)或 3 点(0.2 h 、0.6 h 、0.8 h)
>3	5 点(水面、0.2 h 、0.6 h 、0.8 h 、河底)

4 测速历时应符合下列要求:

- 1) 测点测速历时不应短于 100 s。潮水河流的测速历时,每点宜取 60 s~90 s。在流速变化较大或垂线测点较多时,每点可取 30 s~60 s。洪水时水位涨落较快,测速历时应缩短至 50 s。暴涨暴落或漂浮物较多的河流测速历时不得短于 20 s。
- 2) 测速历时应记录总转数及总历时。当测点流速脉动现象严重时,应分组记录流速仪讯号数的历时。每组前一半讯号数与后一半讯号数的历时差不得超过 10%。

7.3.10 条件困难时亦可采用浮标法测速,浮标测速应符合下列规定:

1 在中线纵断面的上、下游相等距离处应平行地布设上、下浮标断面。上、下断面间的水道断面应基本均匀一致,上、下断面间的距离不应小于最大断面平均流速的 50 倍,条件困难时亦不得小于 20 倍。

2 浮标投放应按下列方法进行:

- 1) 均匀投放:浮标应在全断面均匀分布,并从一岸向另一岸顺序投放。有效浮标数不应少于用流速仪测量时测速垂线的条数,并不得少于 5。
- 2) 中泓投放:洪水涨落变化急剧时可在主流部分投放中泓浮标。应选用历时最短、运行正常、流速最为接近的 2~3 个浮标,取其流速的平均值。

3 浮标走行线测点在图上的间距宜为 3 cm~5 cm,当流向

变化较大时应加密测点。

4 浮标位置的测定可采用 GNSS RTK 或前方交会法等方法。

5 浮标测速开始及结束均应观测水位和风力、风向。当测速过程中接近洪水峰顶前、后时,应增加水位观测的次数。

7.3.11 潮汐影响较大的桥渡,应根据桥渡区潮汐涨落过程和大、中、小潮期流速变化以及汛期洪水与潮流消涨等情况,选择潮流测验期和观测方法,在有代表性桥址断面上进行潮速测量,并应满足下列要求:

1 每个潮流至少应施测 2 个潮流期,即一个月(农历)内宜施测大、小潮各 2 次,中期 4 次。中、小潮每次应连续施测 26 h,大潮每次应连续施测 54 h。汛期洪水来量每增加一定量(一般 $1\,000\text{ m}^3/\text{s}$)时,应增加潮流测量次数。

2 涨潮潮速测量宜采用“多船同时测流法”,沿断面分别在主槽、滩地和槽滩结合部布置潮流测量垂线,固定测流船同时施测。

3 施测期内,潮速测量次数应为每小时 1 次,最大潮速前后宜加密到半小时 1 次。

4 潮速测量垂线上测点数目及分布应符合表 7.3.11 的规定。

表 7.3.11 潮速测量垂线上测点的分布

垂线上水深 h (m)	垂线上测点数目和位置
<2	2 点(0.2h、0.8h)
2~4	3 点(0.2h、0.6h、0.8h)
4~6	6 点(水面、0.2h、0.4h、0.6h、0.8h、河底)
>6	每米 1 点

5 测速同时应观测流向磁方位角,方位角读数不稳定时可多次读数,取平均值。

6 各潮速测量垂线开始施测第一个测点至整个垂线测量结束,应同步观测断面潮位。

7 潮速测量时应监测断面水下部分河床变化,困难时可在测速前后及时施测。

7.3.12 潮速测量资料的整理和计算应符合下列规定:

- 1 垂线上各个测点流速(v_i)取往返测平均值,以 m/s 计。
- 2 垂线平均流速(v_m)根据垂线上各测点流速按表 7.3.12 中计算式计算。

表 7.3.12 潮速测量垂线平均流速(v_m)计算式

垂线上测点数	垂线平均流速计算式(以 m/s 计)
2 点	$v_m = \frac{1}{2} [v_{0.2h} + v_{0.8h}]$
3 点	$v_m = \frac{1}{3} [v_{0.2h} + v_{0.6h} + v_{0.8h}]$
6 点	$v_m = \frac{1}{10} [v_{水面} + 2v_{0.2h} + 2v_{0.4h} + 2v_{0.6h} + 2v_{0.8h} + v_{河底}]$
每米 1 点	$v_m = \frac{1}{n} [v_1 + v_2 + \dots + v_n]$

注:垂线上各测点流向顺逆不一致时按代数数和计算;流向偏角大于 10° ,应按改正后的流速计算。

3 根据断面特征划分出与潮速测量垂线相适应的若干部分。各部分流量=平均流速×断面面积,各部分流量的代数和为断面流量。

4 涨落潮量以每个潮流期为计算范围。潮流往复变化时,潮量计算以憩流出现时为分界。潮量应按下式计算:

$$W = \frac{1}{2} Q_1 \cdot t_1 + \frac{Q_1 + Q_2}{2} \cdot t_2 + \dots + \frac{1}{2} Q_{n-1} \cdot t_n \quad (7.3.12)$$

式中 W ——涨潮量或落潮量(m^3);

Q_i ——前后憩流期间依次测得的潮流量(m^3/s);

t_i ——相邻两次施测间隔时间(s)。

7.3.13 流向测量可采用流向仪或浮标法等施测。采用浮标法时,应符合下列规定:

- 1 浮标投放方法和浮标位置的测定应符合本规范第 7.3.10

条的有关规定。

2 浮标观测的测段长度,在桥址中线上游不宜小于 2 倍河宽,下游不宜小于河宽,特殊情况可适当增减。浮标走行线数不应小于表 7.3.13 的规定,有股流时应适当增加。

表 7.3.13 浮标走行线数

河宽(m)	200~500	500~1 000	>1 000
浮标走行线数	9~11	11~13	13~15

3 测段较长时,宜分段观测。接测界线距桥址中线的距离不应小于 4 个测点的行程;在接测界线前后,两组仪器的共同观测点不应少于 3 点。

4 浮标观测应尽量在无风时进行。

5 浮标观测开始及结束均应观测潮(水)位、风力和风向。在洪峰顶前、后,应增加水位观测的次数。

7.3.14 船筏走行线测量应符合下列要求:

- 1 测量桥址附近航行水位范围内上、下行船筏走行线。
- 2 记录所测船只或船队的船名、船号和吨位。
- 3 测出有关的航行标志。
- 4 桥址中线附近必须有测点。
- 5 测量方法和精度应符合本规范第 7.3.10 条的有关规定。

7.3.15 水文观测结束后,应提交下列测绘成果:

- 1 历史洪水位、水面坡度、水文断面等与线路高程的联测资料。
- 2 洪水位调查及测绘资料,水(潮)位观测资料。
- 3 流速观测及计算资料。
- 4 水面坡度图,纵向比例尺为 1 : 50~1 : 1 000,横向比例尺为 1 : 500~1 : 20 000,内容包括设计水位、历史洪水位、测时水位、水面坡度、水文断面位置、水工建筑物位置、壅水曲线、跌水、测点起点距和高程等。

5 水文断面测量资料及断面图,纵向比例尺为 1 : 50 ~ 1 : 500,横向比例尺为 1 : 1 000 ~ 1 : 10 000,内容包括洪水位高程,测点的起点距和高程,河段地貌及河床地质概况,主槽、河滩、回水区、死水区的分界线等。

6 河道地形图,比例尺一般为 1 : 1 000 ~ 1 : 10 000。

7 浮标流向图、船筏走行线图,比例尺一般为 1 : 1 000 ~ 1 : 10 000。

7.4 桥(涵)址中线及断面测量

7.4.1 复杂特大桥及重要大桥桥址中线控制桩每岸不应少于 2 个,中线桩间距不宜大于 500 m,直线转点、地势突变以及与重要道路、线路、建(构)筑物相交处应加桩。跨河两岸的主要中线桩应埋设混凝土标石。中线桩位置及高程可采用 GNSS RTK 技术、全站仪、水准仪等测定,平面坐标和高程的限差为 5 cm。

7.4.2 桥址纵断面的测绘范围,受地形控制的桥梁应测至两岸线路路肩设计高程以上。当河滩过宽、洪水漫流时,应满足设计桥梁孔跨、导流建筑物和桥头路基的需要。地面横坡大于 1 : 3、地质复杂的桥址,应在桥址中线上、下游各 3 m ~ 10 m 处增测辅助纵断面,可根据需要在桥墩(台)基础范围内增测辅助横断面。

7.4.3 桥址纵断面测点间距应根据桥涵专业设计要求确定。断面测点的位置及高程测量应符合下列规定:

1 桥址纵断面在水面以上部分的测点里程及高程的测定应符合本规范第 7.3.8 条及第 5.3 节的相关规定。

2 水下断面测点的位置可采用 GNSS RTK、前方交会法或断面法测定。水下断面测点的高程应利用测时水位和水深求算。水深可选用测深仪、测深杆或测深锤测定。测量期间应在桥址处设立水尺,并按本规范第 7.3.7 条的规定进行水位观测。

7.4.4 当桥墩(台)处地形、地质变化显著,或设计上有特殊需要时,应测量相应的横断面,测量方法应符合本规范第 5.4 节的有关

规定。

7.4.5 涵洞(包括倒虹吸、泄水洞和渡槽)的轴向断面测量,高程限差应为 0.1 m(山区为 0.2 m),测点距离的限差为距离的 1/200;横向允许偏差为 0.2 m。

7.4.6 改河、改沟和灌溉渠的横断面测量应符合本规范第 5.4 节的有关规定。纵断面测量应符合本规范第 7.4.3 条的规定。改河、改沟和灌溉渠的起终点高程应采用水准仪或全站仪施测,高程闭合差限差为 $50\sqrt{L}$ mm。

7.4.7 测绘成果应包括下列内容:

1 桥址中线测量成果,包括中线控制桩的坐标、里程及高程等。

2 桥址纵断面资料及断面图,比例尺为 1:50~1:1 000,包括测点的里程和高程、中线控制桩的里程和高程等。

3 涵洞轴向断面资料及断面图,比例尺为 1:50~1:200,包括测点的起点距和高程,涵洞中心和水流方向等。斜交或折线形断面应绘制平面示意图,注明线路方向和斜交角或转角。

4 横断面资料及断面图,纵向比例尺为 1:50~1:200,横向比例尺为 1:100~1:500,内容包括横断面桩号及里程、测点偏距和高程等。

7.5 桥(涵)址地形测绘

7.5.1 桥位方案平面图的比例尺宜为 1:1 000~1:50 000,测绘范围应满足选定桥位、桥头引线、桥渡建筑物和施工场地的轮廓布置的需要,测量方法和精度应符合本规范第 5.2 节的规定。

7.5.2 桥址平面图的比例尺宜为 1:500~1:10 000,特别复杂的局部地形可用 1:200。测绘范围应满足设计桥梁孔跨、桥头路基和导流建筑物的需要,顺线路方向应测至两岸历史最高洪水位

2 m 以上;当平坦地区的河流、河滩过宽时,测绘范围不应小于桥梁全长加导流堤在桥址中线的投影长度。沿水流方向的测绘范围应根据设计需要确定。对于受倒灌影响、有蓄水的桥渡,应根据实际情况确定测绘内容和范围。

7.5.3 桥址陆地地形测绘可采用 GNSS RTK 数字测图法、全站仪数字测图法、摄影测量方法和激光扫描法等测量方法,技术要求和精度应符合本规范第 5.2 节的规定。

7.5.4 桥址水下地形测绘应符合下列规定:

1 水下地形图所采用的坐标和高程系统、图幅分幅、等高距应与陆地地形图一致,两者应相互衔接。

2 水下地形点的平面位置和高程测量方法应符合本规范第 7.4.3 条的规定。

3 水下地形点的布测可采用断面或散点形式。以散点形式布测时,图上地形点间距不宜大于 2 cm~4 cm。以断面形式布测时,测深断面线宜与河道岸线近似垂直并沿桥中线两侧分布,地形图上断面间距及断面线上测深点点距不应超过表 7.5.4 的规定。当相邻测点的高程急剧变化时,应加密测点。

表 7.5.4 地形图上断面间距及断面线上测点最大间距

测量水域	重点水域	一般水域
地形图上断面间距(cm)	1.0~2.0	2.0~4.0
断面线上测点最大间距(cm)	1.0	1.0~2.0

7.5.5 复杂特大桥及重要大桥勘测阶段,应按下列规定进行专业调查测绘:

1 调查桥址中线左、右两侧规定范围内需拆迁房屋等建(构)筑物的结构类型、层数、占地面积或建筑面积、权属等,提供调查资料表,绘制建(构)筑物拆迁调查图;调查桥址中线两侧对噪声敏感的单位(如学校、医院、敬老院等),并编制相应的成果资料。

2 调查和测绘桥梁中线两侧规定范围内的土地权属、用途和面积等,绘制工程用地调查成果资料。

3 调查测绘与桥梁相交的既有道路、桥梁、管道、电力线等的类型、管径及埋深、相交点及线路边线的平面位置及高程、桥梁的净空高度、架空管线的悬高等参数,并编绘管线调查成果图,亦可直接标绘在桥址平面图上。

7.5.6 与沟、渠相连的涵洞,应测绘涵址沟渠平面图。涵址沟渠平面图的比例尺为 1:500,高程中误差为 0.1 m(山区为 0.2 m),平面中误差为 0.2 m。

7.6 桥梁施工平面控制测量

7.6.1 跨河正桥施工平面控制网中最弱点的坐标中误差及最弱边的边长相对中误差应满足按下式估算的精度要求:

$$m_x(m_y) \leq 0.4M \text{ 或 } \frac{m_s}{S} \leq \frac{0.4\sqrt{2}M}{S} \quad (7.6.1)$$

式中 M ——施工中放样精度要求最高的几何位置中心的容许误差(mm);

S ——最弱边的边长(mm);

m_x —— x 坐标分量中误差(mm);

m_y —— y 坐标分量中误差(mm);

m_s ——最弱边边长中误差(mm)。

7.6.2 跨河正桥施工平面控制网的测量等级应根据跨河桥长、大跨径桥梁的主跨跨距及桥型桥式、施工精度要求等因素,经过综合分析后确定,并不得低于表 7.6.2 的规定。各等级控制网中跨河桥轴线边的边长相对中误差不应低于表 7.6.2 的规定值。两岸引桥施工平面控制网宜在正桥控制网基础上布测,测量等级可较正桥施工平面控制网降低 1~2 个等级,但最低不得低于四等。

表 7.6.2 跨河正桥施工平面控制测量等级和精度要求

跨河桥长 L (m)	大跨径桥梁主跨 L_1 (m)	测量等级	跨河桥轴线边的边长相对中误差
$2\ 500 < L \leq 3\ 500$	$800 < L_1 \leq 1\ 000$	一等	$\leq 1/350\ 000$
$1\ 500 < L \leq 2\ 500$	$500 < L_1 \leq 800$	二等	$\leq 1/250\ 000$
$1\ 000 < L \leq 1\ 500$	$300 < L_1 \leq 500$	三等	$\leq 1/150\ 000$
$L \leq 1\ 000$	$L_1 \leq 300$	四等	$\leq 1/100\ 000$

注:1 对于跨河桥长小于 1 000 m 的桥梁或主跨短于 500 m 的大跨径桥梁,当桥址两岸已有足够数量的 CP I、CP II 控制点且能满足桥梁施工精度要求时,可直接利用。

- 2 时速大于 120 km 的无砟轨道铁路桥梁的施工平面控制网精度等级不得低于三等。
- 3 对于跨河桥长大于 3 500 m 的复杂特大型桥梁或主跨大于 1 000 m 的大跨径桥梁,应根据桥梁施工的必要精度进行专项设计。
- 4 当跨河桥轴线方向上未埋设控制点时,则用近似平行于桥轴线的跨河边替代跨河桥轴线边来评定精度。

7.6.3 桥梁施工平面控制网可采用 GNSS、导线、三角形网及综合测量方法施测。各等级施工平面控制网测量的技术要求应符合本规范第 3 章的有关规定。

7.6.4 施工平面控制点应选择在地质坚实、通视条件良好、避开施工干扰、易于保护的地方,并宜设在高处。GNSS 控制点点位应满足 GNSS 观测的需要。宜在桥轴线方向上每岸埋设 1~2 个轴线控制点,也可在桥轴线同侧 50 m~300 m 左右每岸埋设 1~2 个控制点,用以替代桥轴线控制点。

7.6.5 控制点标石形状及尺寸参见本规范附录 B。三等及以上控制点宜建造强制归心观测墩。

7.6.6 导线控制测量应组成附合导线或闭合导线。附合导线或导线环的边数宜为 4~6 条,最短导线边边长不宜小于 300 m,相邻边长之比不宜小于 1:3。

7.6.7 三角形网的布设应满足控制网精度和观测条件的要求。

首级控制网可为测角网、测边网或三角网,亦可根据需要采用三角形网或精密导线测量方法布设加密控制网。首级控制网中岸上基线边应与桥中线近似垂直,其长度宜为桥轴线长度的 0.7 倍,困难时不应小于桥轴线长度的 0.5 倍。

7.6.8 使用全站仪测量的控制网边长,应按本规范式(3.3.12—1)将水平距离归算至墩顶或轨顶平均高程面上。

7.6.9 桥梁施工平面控制网成果资料整理应符合本规范第 3.10 节的有关规定。

7.7 桥梁施工高程控制测量

7.7.1 桥梁施工高程控制网中,跨河两水准点间高差的中误差应按式估算:

$$m_H \leq 0.2 \Delta_H \quad (7.7.1)$$

式中 m_H ——跨河两水准点间高差的中误差(mm);

Δ_H ——施工中放样精度要求最高的结构部位的高程容许误差(mm)。

7.7.2 桥梁施工高程控制测量等级应根据本规范第 7.7.1 条估算出的必要精度进行设计。跨河正桥高程控制网的精度等级应符合表 7.7.2 的规定;岸上引桥施工高程控制网的精度等级可较跨河正桥降低一个等级,但不得低于本规范表 4.7.4 规定的线路水准基点的精度等级。

表 7.7.2 跨河正桥施工高程控制测量等级

轨道结构	列车设计速度 V	跨河桥长 L(m)		大跨径桥梁主跨 L ₁ (m)		
		L ≤ 1 000	L > 1 000	L ₁ < 300	300 < L ₁ ≤ 500	L ₁ > 500
无砟	120 km/h < V ≤ 200 km/h	二等	二等	二等	二等	二等
	V ≤ 120 km/h	三等	二等	三等	三等	二等
有砟	160 km/h < V ≤ 200 km/h	三等	二等	三等	二等	二等
	V ≤ 160 km/h	三等	二等	三等	三等	二等

注:当桥梁施工精度要求特别高或有其他特殊需求时,应进行专项设计。

7.7.3 施工高程控制网中的水准点,应沿桥轴线两侧均匀布设,顺桥向点间距宜为 400 m 左右,并构成连续水准环。墩台较高、两岸坡陡时,可在陡坡上一定高差内加设辅助水准点,其精度必须满足施工要求。

7.7.4 水准点应根据地质情况和精度要求分别埋设混凝土标石、钢管标石、岩石标石、管桩标石、钻孔桩标石或基岩标石。当工期短、桥式简单、精度要求较低时,可在牢固稳定的建(构)筑物上设立施工水准点标志,但应加强检测。水准点标石形状及尺寸参见本规范附录 B。

7.7.5 同岸水准点间高程联测和起算点高程引测,宜采用水准测量方法,四等网也可采用光电测距三角高程测量方法。仪器检验、观测及限差等技术要求应符合本规范第 4.2 节、第 4.3 节的有关规定。

7.7.6 跨河水准测量应按本规范第 4.5 节的规定执行。

7.7.7 桥梁施工高程控制网宜按统一的单位权中误差确定各测段的权,进行整体平差。

7.7.8 桥梁施工高程控制网成果资料整理应符合本规范第 4.9 节的有关规定。

7.8 桥梁施工控制网复测

7.8.1 桥梁施工前,应对施工控制网进行复测。施工期间应对其进行定期复测,复测周期不应超过 1 年。

7.8.2 桥梁施工过程中,应对控制点进行点位稳定性检测,当发现控制点的稳定性有下列问题时,应立即进行局部或全面复测。

1 当控制网中个别控制点位移或沉陷,周围其他控制点仍然可靠时,可进行局部复测,将已产生位移的控制点与周围的稳定点联网观测。

2 当控制网中少量控制点发生明显位移,其他控制点的稳定性难以判断时,或者当控制网中较多控制点发生位移时,均应进行

全面复测。

7.8.3 施工控制网复测应符合下列规定：

1 复测宜在原网的基础上进行。复测网精度等级应与原网相同，复测方法及技术要求宜与原测保持一致。

2 原控制网的坐标系统和高程系统不得更换，控制网的起算点应与原网一致。当原网起算点被损毁或发生明显位移（沉降）时，可改用其他稳定可靠的控制点起算，但必须保持位置基准、方向基准、尺度基准和高程基准不变。

7.8.4 复测完成后，应进行严密平差，并采用现场勘验与统计检验相结合的方法对施工控制点进行稳定性分析和评定，也可采用下式的简便方法进行稳定性分析和评定：

$$\Delta_{\text{限}} = \pm 2 \sqrt{m_{\text{原}}^2 + m_{\text{复}}^2} \quad (7.8.4)$$

式中 $\Delta_{\text{限}}$ ——复测坐标（高程）与原测坐标（高程）较差的限差（mm）；

$m_{\text{原}}$ ——原测坐标（高程）中误差（mm）；

$m_{\text{复}}$ ——复测坐标（高程）中误差（mm）。

7.8.5 施工控制网复测后，当控制点的复测成果与原测成果的较差满足规定限差要求时，采用原测成果；当较差超限时，应进行二次复测，查明原因，并分析、确认采用成果。

7.9 施工放样及竣工测量

7.9.1 当施工控制点密度不能满足施工定位放样需要时，应在施工控制网基础上采用 GNSS 静态测量、导线、三角形网测量方法进行加密。加密点应选在离桥中线较近、通视条件较好且不受施工作业干扰、稳固的地基或构（建）筑物上。

7.9.2 墩台基础中心点定位可采用 GNSS RTK、全站仪坐标法、交会法等方法，应采用不同方法或不同控制点进行放样，各次放样点位的互差不应超过 ± 20 mm。

7.9.3 岸上墩台的沉井(原地或筑岛)测量应符合下列规定:

1 检查地坪或岛面符合要求后,放样沉井平面各点位,保持沉井刃脚模板十字线与墩台中心纵横十字线重合,并使沉井刃脚各部位处于设计高度平面上。

2 沉井下沉前,应在内外壁混凝土面上用红油漆或墨线标出纵横向轴线。在沉井顶面纵横轴线两端标出以基本刃脚为起算零点的4个高度点。

3 沉井接高时,井顶十字线的引伸及高度基准面的接高,均应按沉井倾斜值向上推算顺接。每次接高完成后,应标出沉井顶面十字线和高度基准面。

4 沉井下沉过程中,应定时测量并推算沉井的顶、底位置和高程。

5 沉井下沉到设计高程后,应检查并调整沉井顶部十字线和高度基准面,推算沉井的顶、底位置和高程。

7.9.4 水上拼装沉井前,应在拼装船上设放十字线、轮廓线、检查线及高度基准面,各对角线间或中点连线间的长度互差限值为10 mm,高度基准面的平面符合性验算限差为5 mm。沉井拼装完成后,应检查顶平面尺寸及高度,并应投放顶平面十字线与高度面。

7.9.5 在水中桥墩沉井下沉就位过程中,应及时测定沉井的位置、扭角、倾斜、刃脚高程及施工需要的局部水文资料。测量方法和精度等应符合下列规定:

1 沉井刃脚的高程应由四等或四等以上精度的水准点测定。沉井的高度标志应稳固且便于观测,测得的高度验算限差为5 mm。

2 沉井顶面上的观测标志点与沉井顶平面的几何相对关系尺寸偏差的限值为2 cm。

3 沉井所在河床高程,两次测量互差的限差为水深的1/200。

4 当沉井处于稳定状态后,应由两岸施工控制点按五等GNSS

或一级导线测定沉井顶面上的观测标志点的平面坐标,按五等高程测量精度测定沉井顶面上的观测标志点的高程。

7.9.6 水中桥墩沉井竣工测量应符合下列规定:

1 由两岸施工控制点按四等平面和高程精度测定沉井顶部位置,并与沉井中心比较。

2 检查并调整沉井顶部十字线及高度基准面,推算沉井顶部及底部的位移、倾斜、扭角和刃脚高程。

7.9.7 水下混凝土封底测量应符合下列规定:

1 封底前,应按下列要求做好测量准备:

- 1) 测量起始基底高程,两次测量互差的限值为 5 cm。
- 2) 设置测量平台及测读平面,在布设测点处均应设立相当于测读平面的稳固标志,其高程误差限值为 3 cm。
- 3) 自管底起用钢卷尺量出导管的延尺长,标出高程标志。
- 4) 用钢卷尺检查测绳的长度,每百米长度误差的限值为 10 cm。测铈的比重应为 1.3~1.6。

2 封底测量应符合下列要求:

- 1) 定时测读混凝土面及导管底高程,测量限差为 10 cm。
- 2) 在混凝土灌注完毕、导管提出混凝土面后,应全面测量一次混凝土面高程。混凝土凝固后,再测一次,作为竣工依据。

7.9.8 管桩施工测量应符合下列规定:

1 每根管桩打入、接桩过程中及到达设计高程后,应定时测定桩位中心的平面位置、倾斜度和桩顶高程,并推算桩尖高程及承台底处的桩顶位置。管桩的平面设放限差为 20 mm。斜桩应按设计坡度推算至地面高程后再设放。

2 承台浇筑前,应测定管桩群顶部位置,编列单根管桩及管桩群的位移及倾斜竣工资料。

7.9.9 钻(挖)孔灌注桩测量应符合下列规定:

1 桩位应按设计桩位与墩台中心十字线相对位置设放。埋

设护筒后应检查其平面位置的偏差,并测量护筒顶面高程。

2 钻(挖)桩孔内灌注水下混凝土测量应符合本规范第 7.9.7 条的规定。

3 灌注混凝土后应测定桩位中心坐标,并在桩侧按桩头设计高程测定高程线。

7.9.10 海中桥墩基础施工放样及竣工测量可采用 GNSS RTK 技术。应建立作用范围和定位精度满足施工放样要求的 GNSS 参考站系统,参考站的建设应符合国家现行《全球导航卫星系统连续运行基准站网技术规范》GB/T 28588 的技术要求。

7.9.11 采用 GNSS RTK 进行桥梁桩基、承台的平面和高程施工放样及竣工测量,其主要技术要求应符合本规范第 5.3.5 条的规定。

7.9.12 采用 GNSS RTK 进行海中桥梁桩基施工定位时,应按下列规定进行桩位校核:

1 海上 GNSS 打桩定位系统进场后应进行校核,每个承台的第一根桩应进行校核,可采用下列方法:

- 1) 全站仪辅助定位。
- 2) 改换使用另一个 GNSS 参考站的信号。
- 3) 在船上布设校核点并测定其三维坐标,根据校核点与桩身的几何关系推算出桩身偏位。

2 承台其余桩位的校核可量取各桩之间的几何距离来比对。

7.9.13 海中钢管桩桩顶高程测量应符合下列规定:

1 在桥中线上、下游两侧各选一个倾斜度相对较小的钢管桩,采用 GNSS RTK 放样桩顶设计高程,每根桩放样三次,再用塑料水管进行两桩校核,选取其相符值。

2 其他钢管桩截桩高程测量应满足下列要求:

- 1) 承台其他桩的标高,从已测桩开始用塑料水管顺次引测至已测桩。已测桩两次高程测量值之差超过 5 mm 时,应进行返测,直至高程相符为止。

- 2) 每次测高时,应在控制点上进行 GNSS RTK 校核,求取 GNSS RTK 测高改正常数,并在已放样好的高程标志上予以验证。

7.9.14 海中钢管桩桩顶中心点的坐标测量应符合下列规定:

- 1 截桩后,在桩顶安放十字架,用 GNSS RTK 测定桩心坐标,计算桩心偏位,并归算至设计高程处。

- 2 GNSS RTK 测量时,应观察屏显数据随桩体晃动的变化情况,记录晃动中心值,每根桩记录 3 次,取其均值。

7.9.15 海中承台套箱安装定位应符合下列规定:

- 1 应用 GNSS 技术测设至少两个相互通视的套箱安装控制点,测量精度应符合四等 GNSS 测量的要求。套箱安装控制点高程可采用 GNSS 高程拟合法求得,GNSS 高程拟合误差不应大于 30 mm。

- 2 利用套箱安装控制点作为测站点或后视点,进行套箱井字架安装放样,平面误差不应大于 20 mm,高程误差不应大于 50 mm。

- 3 套箱安装时,先根据放样标记进行粗定位,再用 GNSS RTK 进行定位检测。检测所记录的数据用于计算钢套箱的安装偏位。

7.9.16 海中承台施工定位应符合下列规定:

- 1 承台箱安装到位后,应用 GNSS 技术在钢套箱长轴方向上加密两个承台施工控制点。按一级加密网的精度测设,可采用 GNSS 拟合高程。

- 2 利用承台施工控制点作为测站点或后视点,采用全站仪坐标法放样承台轴线点。

- 3 海中分离式承台的轴线点放样后,按设计要求进行点位校验。

7.9.17 承台、墩身、顶帽及垫石施工放样及竣工检查的精度应满足现行《铁路桥涵工程施工质量验收标准》TB 10415 的要求。应

根据需要在墩顶桥梁中线上埋设中心标 1~2 个,并在墩顶上、下游两侧各埋设水准标 1 个。在桥墩建成后,应测定中心标坐标及水准标高程。

7.9.18 承台全部或部分竣工后,应依据施工控制点,沿桥中线方向采用导线法或 GNSS 静态相对测量法进行全部或部分测量贯通。测量精度不应低于一级导线的精度要求。当实测跨距与设计跨距的差值:一般桥涵超过 20 mm、复杂特大桥及重要大桥超过 15 mm 时,应根据桥墩设计允许偏差逐墩进行跨距调整。

7.9.19 架梁测量应符合下列规定:

1 架梁前应按不低于四等平面控制测量的精度测定墩(台)中心坐标、里程及相邻墩台之间的跨距,在墩(台)顶上放样出支座十字线及梁端轮廓线。

2 应按不低于四等水准测量精度测定墩(台)顶水准标的高程,通过直接逐跨联测,实现全桥高程贯通,并检查垫石面高程。

3 根据架梁方法进行相应的水文、拖拉滑道、架桥机走行道等项测量。

7.9.20 支座安装测量应符合下列规定:

1 高程精度要求与墩顶水准标相同。

2 固定支座应按设放的支座十字线安装,活动支座的辊轴倾斜位移应按实测气温计算。

7.9.21 悬臂拼装钢桁梁测量应符合下列规定:

1 在起吊拼装前,按规定检查钢梁主要杆件的制造误差,并设放测量标志点。

2 准确测定平衡梁的平面、立面位置,并使其中线与桥中线一致。

3 采用跨中合龙时,应准确测定合龙部分锚孔前后两支点的相对高差,合龙前应测定两端悬臂部分的中线、挠度及距离,合龙后应测定钢梁全部中线、高程、拱度。

4 应在中线上、下游两侧对称布设钢梁高程标志点,按三等

水准测量精度要求测定其高程。

5 墩顶处桥中线点位应投放至横梁顶部,投影点位互差不得大于 2 mm。

7.9.22 全部恒载安装完毕后,在试车后通车前,应按下列要求测定墩上支座结构相对于墩中心的竣工位置:

1 测量活动及固定支座底板与桥墩实际放样里程中心点的相对关系。

2 测量支座下摆对于铰枢中心的相对关系。

3 测量不同气温时活动支座辊轴顶、底部的相对位移变化值,并依此推算出在设计温度时支座底板与下摆中心的纵向相对关系。

4 计算各墩钢梁支点对于桥墩里程中心点的相对差值、全桥长度相对差值。

7.9.23 斜拉桥主塔塔座及下横梁竣工后,应由岸上控制点进行平面和高程贯通测量,按下列规定测放主塔墩中心点,并建立高塔柱施工控制点:

1 平面贯通测量采用全站仪导线或 GNSS 静态测量方法,按不低于三等平面控制测量精度实施。精密测放主塔墩中心点,其点位中误差不应大于 5 mm。同时应设立上、下游墩中心线控制点。

2 当主跨实测跨距与设计跨距的差值超过 10 mm 时,两主塔中心点应作适当调整,同时调整相邻桥墩中心点位置。边跨实测跨距与设计跨距的较差亦不应超过 10 mm。

3 以两主塔中心连线作为斜拉桥桥中线,检测主塔墩两端相邻墩的位置。当相邻墩偏离桥中线方向的距离超过 5 mm 时,应适当调整相邻墩中心点的位置。

4 高程贯通测量按二等跨河水准测量要求实施。设立 4 个水准标,分别位于桥中线和墩中心线方向上,与高程贯通测量水准标进行联测。

7.9.24 斜拉桥主塔塔柱施工测量基准的传递应符合下列规定：

1 平面基准的传递：塔柱内墩中心点的位置可采用激光准直法、精密天顶基准法、全站仪逐次趋近法或全站仪坐标差分法等方法，由本规范第 7.9.23 条建立的墩中心点向上铅垂投放。当两次投影中心位置的偏距不超过 3 mm 时，取其平均位置，并依此放出塔柱内基本控制点（柱中心线和墩中心线）。

2 高程基准的传递：可采用全站仪天顶测距法、悬挂钢尺水准测量法、全站仪三角高程法等方法，应根据现场条件选用多种方法进行检核验证。使用全站仪三角高程法时，应尽可能进行同步对向观测，条件不允许时可采用全站仪三角高程差分法或其他方法削弱地球曲率和大气折光对高程传递的影响。全站仪三角高程法的仰角不应超过 15° 。

3 塔柱内基本控制点及临时高程控制点的测设应选在日出前或夜间进行。

7.9.25 斜拉桥主塔索道管的安装定位测量应符合下列规定：

1 索道管顶（底）口定位的三维坐标偏差不宜大于 5 mm。

2 索道管顶口与底口中心坐标的相对偏差不宜大于 3 mm，索道管中心线的空间方位偏差不宜大于 $30'$ 。

7.9.26 斜拉桥钢桁梁架设施工测量应符合下列规定：

1 主塔横梁顶面控制点的建立应符合本规范第 7.9.23 条的规定。

2 根据横梁顶面控制点，在墩旁托架支点处放出主桁下弦杆的中心线和轮廓线，并按照支点的设计高程调整垫块的高度。当托架上钢桁梁节间试拼后，测量其主桁的位置和高程。

3 钢桁梁悬拼过程中的施工测量应符合本规范第 7.9.21 条的规定。

4 双伸臂对称安装每一个节间至设计规定的单侧悬臂长度时，调整钢梁中线，测量其偏差，达到设计规定的允许值后进行横向约束，并安装第一对斜拉索。

5 钢桁梁悬拼过程中应进行测量监控。每架设一个节间,应测绘出钢梁的拱度曲线和钢梁中线图。测量监控应在凌晨 1:00~3:00 内完成。

7.9.27 转体桥平面测量应采用标称精度不低于 $1''$ 、 $1\text{ mm}+1\times 10^{-6}D$ 的全站仪,高程测量应采用标称精度不低于 0.3 mm/km 的数字水准仪及配套因瓦尺。

7.9.28 转体桥球铰放样应符合下列规定:

1 球铰骨架中心定位平面和高程放样偏差 $\leq 1\text{ mm}$ 。

2 撑脚放样偏差 $\leq 5\text{ mm}$ 。

3 转体桥牵引动力系统的反力座轴线平面放样限差 $\leq 10\text{ mm}$,反力座顶面高程放样限差 $\leq 10\text{ mm}$ 。

4 精确定位及调整完成后,应对下转盘球铰的中心、标高、平整度进行复查:球铰边缘各点高差不应大于 1 mm ;与上、下球铰焊接的定位轴套管中心轴应与转动轴重合,误差不应大于 1 mm 。

7.9.29 梁体转体施工测量控制应符合下列规定:

1 转体前精确定位出转体构件端部的轴线位置的中心点位,测出该点的实际高程,并在转动过程中监测该点高程的变化以便判断是否出现构件的纵向倾斜。

2 在转体梁边跨墩顶上安置全站仪,观测转动过程中转体中心点位坐标,判断转动的水平距离是否达到设计轴线位置。

3 转体过程中应对梁体、墩柱连续观测,实时提供观测数据。在转体梁距离设计位置 1 m 时,牵引千斤顶应由连续作业变更为点动操作,梁体逐步就位。

4 结构旋转到距设计位置 0.5 m 时应放慢转速,改用手动控制牵引千斤顶,距设计位置 100 mm 时,停止外力牵引转动,借助惯性就位。

5 转体就位后,应对转体梁段进行平面和高程测量,并计算出就位轴线及高程偏差值,供梁体线形调整使用。

6 转体就位采用全站仪中线校正,中线允许偏差不应大于

20 mm。

7 在墩柱施工开始至梁体转体施工全过程中,应按设计要求进行沉降监测。

7.9.30 桥梁总体竣工测量应符合下列规定:

1 桥梁总体竣工测量内容应包括桥面中线偏位、桥宽、桥长及桥面纵横断面测量、桥头高程衔接测量、引桥中线与主桥中线衔接测量等。

2 桥面中线偏位测量宜采用全站仪坐标法,每隔 20 m 测量 1 点。

3 桥宽宜采用钢尺丈量,桥长应沿桥梁中心线测量。

4 桥面横断面应在桥头、桥中和桥尾处各测量 1 个,对于长桥应每隔 100 m 增测 1 个。

5 桥头高程衔接测量宜采用几何水准测量法,在桥头搭板范围内沿桥面纵坡每 1 m 测量 1 点。

8 构筑物变形测量

8.1 一般规定

8.1.1 铁路工程变形测量应根据工程建(构)筑物的重要性、施工工艺要求、周边地质环境情况及工程施工的需要,按照设计文件对变形监测的内容和范围要求开展建(构)筑物变形测量。铁路工程变形测量包括下列项目:

1 为保证施工质量和施工安全,施工期间对构筑物支护结构、构筑物自身以及变形区内的地表、建筑物、管线等周边环境的变形监测。

2 为满足线下工程构筑物变形评估的需要,在线下工程施工期间和竣工后对桥梁、路基、隧道等构筑物的变形监测。

3 运营期间对受运营或周边建设影响的桥梁、路基、隧道等构筑物和受运营影响的周边地表、建筑物、管线等的变形监测。

8.1.2 构筑物变形测量的观测频次应根据设计文件的要求及施工现场变形变化情况确定。

8.1.3 变形监测工作应按线下工程施工的开工时间、工程进度以及工程的需要适时开展。变形监测工作实施前,应由监测单位制定详细的监测方案。首次观测,宜获取监测体初始状态的观测数据。

8.1.4 变形监测可采用几何测量、物理传感器测量、卫星定位测量、遥感测量和三维激光扫描等方法。

8.1.5 变形监测网(水平位移监测网、垂直位移监测网)应尽量利用施工控制网。当施工控制网不能满足要求时,应建立独立的监测网,并与施工控制网联测。

8.1.6 变形监测网一般由基准点、工作基点和变形观测点组成。其布设应符合下列规定：

1 每个独立的监测网应设置不少于 3 个稳固可靠的基准点。大型工程变形监测项目，水平位移监测基准点应设立强制归心观测墩；垂直位移监测基准点宜采用双金属标或钢管标。

2 工作基点应选在比较稳定的位置。当观测条件较好或观测项目较少时，可不设立工作基点，在基准点上直接测量变形观测点。水平位移监测工作基点宜设立强制归心观测墩。

3 变形观测点应设立在变形体上能反映变形特征的位置。变形观测点宜采用强制对中装置的觇牌或反射棱镜。

8.1.7 变形观测等级及精度应符合表 8.1.7 的规定。

表 8.1.7 变形测量等级及精度要求

变形测量等级	垂直位移测量		水平位移测量
	变形观测点的高程中误差(mm)	相邻变形观测点的高差中误差(mm)	变形观测点的点位中误差(mm)
一等	±0.3	±0.1	±1.5
二等	±0.5	±0.3	±3.0
三等	±1.0	±0.5	±6.0
四等	±2.0	±1.0	±12.0

8.1.8 基准点应选设在变形影响范围以外、便于长期保存的稳定位置。使用时应做稳定性检查与检验，并应以稳定或相对稳定的点作为测定变形的参考点。

8.1.9 变形测量应在观测点稳固后进行首次观测，每个观测点首次坐标或高程应在同期观测两次后确定。

8.1.10 每次观测前，对所使用的仪器和设备应进行检验校正，并保留检验记录。每次变形观测时，宜采用相同的图形（观测路线）和观测方法。宜使用同一仪器和设备，固定观测人员，在基本相同的环境和观测条件下工作。

8.1.11 变形监测网的复测应符合下列规定：

1 基准网应在建成后 3 个月时进行首次复测，此后每隔 6 个月复测一次。

2 工作基点的复测应每月至少一次，实施过程中根据控制点的稳定性和实际需要进行调整。

8.2 变形监测基准网

8.2.1 水平位移监测基准网，可采用三角形网、导线网、GNSS 网、视准线法和激光准直法等形式。

8.2.2 水平位移监测基准网的主要技术要求应符合表 8.2.2 的规定。

表 8.2.2 水平位移监测基准网的主要技术要求

等级	相邻基准点的 点位中误差 (mm)	平均 边长 (m)	测角 中误差 (")	测边 中误差 (mm)	水平角观测测回数	
					0.5"级仪器	1"级仪器
一等	±1.5	≤300	±0.7	1.0	8	12
		≤200	±1.0	1.0	6	9
二等	±3.0	≤400	±1.0	2.0	6	9
		≤200	±1.8	2.0	4	6
三等	±6.0	≤450	±1.8	4.0	4	6
		≤350	±2.5	4.0	2	4
四等	±12.0	≤600	±2.5	7.0	2	4

8.2.3 对于三等以上的 GNSS 监测基准网，应采用双频接收机，并采用静态相对定位模式进行观测。

8.2.4 垂直位移监测基准网的建立应符合下列规定：

1 垂直位移监测基准网应布设成闭合环状、结点或附合水准路线等形式。

2 水准基点应埋设在变形区以外稳定的原状土层内或裸露

基岩上,亦可利用稳固的建(构)筑物设立墙上水准点。当受条件限制时,在变形区内也可埋设深层基岩标。

8.2.5 垂直位移监测基准网的主要技术要求应符合表 8.2.5 的规定。

表 8.2.5 垂直位移监测基准网的主要技术要求

等级	相邻基准点的高差中误差 (mm)	每站高差中误差 (mm)	往返较差、附和或环线闭合差 (mm)	检测已测高差较差 (mm)
一等	0.3	0.07	$0.15\sqrt{n}$	$0.2\sqrt{n}$
二等	0.5	0.13	$0.3\sqrt{n}$	$0.5\sqrt{n}$
三等	1.0	0.3	$0.6\sqrt{n}$	$0.8\sqrt{n}$
四等	2.0	0.7	$1.40\sqrt{n}$	$2.0\sqrt{n}$

注: n 为测站数。

8.2.6 垂直位移监测基准网水准观测的主要技术要求应符合表 8.2.6 的规定。

表 8.2.6 水准观测的主要技术要求

等级	水准仪等级	水准尺	视距 (m)	前后视距差 (m)	前后视距累积差 (m)	视线离地面最低高度 (m)	两次读数较差 (mm)	两次测量高差较差 (mm)
一等	DS ₀₅	因瓦	≤15	≤0.3	≤1.0	≥0.5	≤0.3	≤0.4
二等	DS ₀₅	因瓦	≤30	≤0.5	≤1.5	≥0.5	≤0.3	≤0.4
三等	DS ₀₅	因瓦	≤50	≤2.0	≤3.0	≥0.3	≤0.5	≤0.7
	DS ₁	因瓦	≤50	≤2.0	≤3.0	≥0.3	≤0.5	≤0.7
四等	DS ₁	因瓦	≤75	≤5.0	≤8.0	≥0.2	≤1.0	≤1.5

8.3 变形监测的主要方法和技术要求

8.3.1 变形监测的方法应根据监测项目的特点、精度要求、变形速率以及监测体的安全性等指标,按表 8.3.1 选用,也可同时采用

多种方法进行监测。

表 8.3.1 变形监测方法的选择

类别	监测方法
水平位移监测	三角形网、导线、极坐标法、交会法、GNSS 测量、正倒垂线法、视准线法、激光准直法、精密测(量)距、伸缩仪法、多点位移计、倾斜仪等
垂直位移监测	水准测量、液体静力水准测量、光电测距三角高程测量、单点沉降计等
三维位移监测	全站仪自动跟踪测量法、GNSS 测量法、三维激光扫描测量法、摄影测量法等
主体倾斜	经纬仪投点法、差异沉降法、激光准直法、垂线法、倾斜仪等
监测体裂缝	精密测(量)距、伸缩仪、裂缝计、位移计、三维激光扫描测量法、摄影测量法等

8.3.2 采用导线网、三角形网法进行变形监测应符合本规范表 8.2.2 的规定。

8.3.3 采用交会法、极坐标法进行变形监测应符合下列规定：

1 用交会法进行水平位移监测时，宜采用三点边角交会法，交会角宜在 $30^{\circ}\sim 150^{\circ}$ 之间。

2 用极坐标法进行水平位移监测时，宜采用双测站极坐标法。

3 测站点宜采用有强制对中装置的观测墩，变形观测点可埋设强制对中装置或其他固定标志。

8.3.4 采用视准线法进行变形监测应符合下列规定：

1 视准线两端的延长线外，宜设立校核基准点。

2 视准线应离开障碍物 1 m 以上。

3 各测点偏离视准线的距离，不宜大于 2 cm；采用小角法时可适当放宽，小角角度不应超过 $30''$ 。

4 视准线测量可选用活动觇牌法或小角度法。当采用活动觇牌法观测时，监测精度宜为视准线长度的 1/100 000；当采用小

角度法观测时,监测精度应按下式估算:

$$m_s = m_\beta L / \rho \quad (8.3.4)$$

式中 m_s ——位移中误差(mm);

m_β ——测角中误差(");

L ——监测点至基准点间的长度(mm);

ρ ——206 265"。

5 基准点、校核基准点和变形观测点均应采用有强制对中装置的观测墩。

6 当采用活动觇牌法观测时,观测前应对觇牌的零位差进行测定。

8.3.5 采用正垂线法进行变形监测应符合下列规定:

1 应根据垂线长度合理确定重锤重量。

2 垂线宜采用直径为 $\phi 0.8 \text{ mm} \sim \phi 1.2 \text{ mm}$ 的不锈钢丝或因瓦丝。

3 单段垂线长度不宜大于 50 m。

4 测站应采用有强制对中装置的观测墩。

5 垂线观测可采用光学垂线坐标仪,测回较差不应超过 0.2 mm。

8.3.6 采用激光测量进行变形监测应符合下列规定:

1 激光器(包括激光经纬仪、激光导向仪、激光准直仪等)宜安置在变形区影响之外或受变形影响较小的区域。激光器应采取防尘、防水措施。

2 安置激光器后,应同时在激光器附近的激光光路上设立固定的光路检核标志。

3 整个光路上应无障碍物,光路附近应设立安全警示标志。

4 目标板(或感应器)应稳固设立在变形比较敏感的部位并与光路垂直;目标板的刻划应均匀、合理。观测时应将接收到的激光光斑调至最小、最清晰。

8.3.7 采用水准测量方法进行垂直位移监测时,垂直位移观测精

度和观测方法应符合本规范表 8.2.5、表 8.2.6 的规定。

8.3.8 监测体裂缝观测应符合下列规定：

1 裂缝观测点应根据裂缝的走向和长度，分别布设在裂缝的最宽处和裂缝的末端。

2 裂缝观测标志应跨裂缝牢固安装。标志可选用镶嵌式金属标志、粘贴式金属片标志、钢尺条、坐标格网板或专用量测标志等。

3 标志安装完成后应拍摄裂缝观测初期的照片。

4 裂缝的量测可采用小钢尺、游标卡尺或塞尺等工具，量测应精确至 0.1 mm。

5 裂缝的观测周期应根据裂缝变化速度确定。裂缝初期可每半个月观测一次，基本稳定后宜每月观测一次，当发现裂缝加大时应及时增加观测次数，必要时应持续观测。

8.3.9 全站仪自动跟踪测量应符合下列规定：

1 测站应设立在基准点或工作基点上，并采用有强制对中装置的观测台或观测墩；测站视野应开阔无遮挡，周围应设立安全警示标志；应同时具备防水、防尘设施。

2 监测体上的变形观测点宜采用观测棱镜，距离较短时也可采用反射片。

3 数据通信电缆宜采用光缆或专用数据电缆，并应安全敷设，连接处应采取绝缘和防水措施。

4 作业前应将自动观测成果与人工测量成果进行比对，确保自动观测成果无误后，方能进行自动监测。

5 测站和数据终端设备应备有不间断电源。

6 数据处理软件应具有观测数据自动检核、超限数据自动处理、不合格数据自动重测、观测目标被遮挡时可自动延时观测处理和变形数据自动处理、分析、预报和预警等功能。

8.3.10 采用摄影测量方法进行变形监测应符合下列规定：

1 应根据监测体的变形特点、监测规模和精度要求，合理选用作业方法，可采用时间基线视差法、立体摄影测量方法或实时数

字摄影测量方法等。

2 监测点标志可采用十字形或同心圆形,标志的颜色应使影像与标志背景色调有明显的反差,可采用黑、白、黄色或两色相间。

3 像控点应布设在监测体的四周;当监测体的景深较大时,应在景深范围内均匀布设。像控点的点位精度不宜低于监测体监测精度的 $1/3$ 。

4 对于规模较大、监测精度要求较高的监测项目,可采用多标志、多摄站、多相片及多量测的方法进行。

5 摄站应设置在带有强制归心装置的观测墩上。对于长方形的监测体,摄站宜布设在与物体长轴相平行的一条直线上,并使摄影主光轴垂直于被摄物体的主立面;对于圆柱形监测体,摄站可均匀布设在与物体中轴线等距的周围。

6 多像对摄影时,应布设像对间起连接作用的标志点。

8.3.11 采用 GNSS 实时定位测量方法进行变形监测应符合下列规定:

1 应设立永久性固定参考站作为变形监测的基准点,并建立实时监控中心。

2 参考站应设立在变形区之外或受变形影响较小的地势较高区域,上部天空应开阔,无高度角超过 10° 的障碍物,且周围无 GNSS 信号反射物(大面积水域、大型构筑物),以及无高压线、电视台、无线电发射站、微波站等干扰源。

3 应在监测体的变形观测点上设置 GNSS 接收机天线,并采取保护措施。接收天线的周围无高度角超过 10° 的障碍物。变形观测点的数量应依据具体的监测项目和监测体的结构灵活布设。接收卫星数量不应少于 5 颗,并采用固定解成果。

4 对于长期的变形监测项目宜采用光缆或专用数据电缆通信,对于短期的监测项目也可采用无线电数据链通信。

8.3.12 使用传感器进行变形监测,同等级观测的仪器精度不应低于几何测量仪器。变形监测点的监测精度不应低于表 8.1.7 的要求。

8.4 路基变形测量

8.4.1 路基变形测量包括路堤、路堑和滑坡变形监测。

8.4.2 路基变形观测断面和观测点布置应根据地形、地质条件、地面环境、填挖断面和施工方法等因素综合确定。

8.4.3 路基变形测量两次连续观测的沉降差值大于 4 mm 时应加密观测频次。

8.4.4 无砟轨道路基沉降观测应按三等垂直位移观测精度要求执行;有砟轨道路基可按四等垂直位移观测精度要求执行。冻胀路基地段变形观测应按三等垂直位移观测精度要求执行。

8.4.5 滑坡变形监测精度应符合表 8.4.5 的规定。

表 8.4.5 滑坡变形监测精度要求

类 型	水平位移监测的点位中误差(mm)	垂直位移监测的高程中误差(mm)	地表裂缝的观测中误差(mm)
岩质滑坡	6.0	3.0	0.5
土质滑坡	12.0	10.0	5.0

8.4.6 路堤、路堑高边坡的监测精度与滑坡监测的要求一致。

8.5 桥梁变形测量

8.5.1 桥梁变形监测的内容应根据桥梁结构类型按表 8.5.1 选择。

表 8.5.1 桥梁变形监测项目

类 型	施工期主要监测内容	运营期主要监测内容
梁式桥	桥墩垂直位移 悬臂法浇筑的梁体水平、垂直位移 悬臂法安装的梁体水平、垂直位移 支架法浇筑的梁体水平、垂直位移	桥墩垂直位移 桥面水平、垂直位移
拱桥	桥墩垂直位移 装配式拱圈水平、垂直位移	桥墩垂直位移 桥面水平、垂直位移

续表 8.5.1

类 型	施工期主要监测内容	运营期主要监测内容
悬索桥 斜拉桥	索塔倾斜、塔顶水平位移、塔基垂直位移 主缆线性形变(拉伸变形) 索夹滑动位移 梁体水平、垂直位移 散索鞍相对转动 锚碇水平、垂直位移	索塔倾斜、垂直位移 桥面水平、垂直位移
桥梁两岸边坡	桥梁两岸边坡水平、垂直位移	桥梁两岸边坡水平、垂直位移

8.5.2 桥梁沉降观测应按三等垂直位移观测精度要求执行。

8.5.3 变形监测可采用 GNSS 测量、极坐标法、精密测(量)距、导线测量、前方交会法、正垂线法、水准测量等。

8.5.4 大型桥梁的变形监测,必要时应同步观测梁体和桥墩的温度、水位和流速、风力和风向。

8.5.5 桥梁变形观测点应设在能反映变形特征的变形体上,布设原则如下:

1 每个承台应设置 2~4 个垂直位移观测点,分设于底层承台左侧(或右侧)小里程角(或大里程角)上,呈对角形式布置。

2 每个墩(台)身上应埋设 2~4 个垂直位移观测点,分设于桥墩(台)身底部高出地面或常水位 0.5 m 左右的位置,或设于桥墩墩帽顶面上,点位宜布置成对角形式。

3 梁体变形观测点应设置在支点和跨中截面,每孔梁的测点数量应不少于 6 个。重点桥跨中部应布置徐变观测点。

4 水平位移观测点宜设在桥轴线或墩中心线上。

8.5.6 变形测量的数据分析处理应符合下列规定:

1 绘制桥梁单墩、梁跨的变形曲线图。

2 绘制出多个桥墩的各期沉降曲线总图。

3 对照分析计算的变形值与实际观测值,对桥梁沉降进行判断。

8.6 隧道变形测量

8.6.1 隧道变形监测项目和内容应根据埋深、地质条件、地面环境、开挖断面和施工方法等因素综合确定。

8.6.2 隧道变形观测应按三等垂直位移观测精度要求执行。

8.6.3 隧道变形监测应符合下列规定：

1 应对距离开挖面较近的隧道断面、不良地质构造、断层和衬砌结构裂缝较多的隧道断面的变形进行监测。

2 隧道内的基准点应埋设在变形区外相对稳定的地方或隧道横洞内。必要时，应设立深层钢管标。

3 隧道底面回弹监测宜采用水准测量方法；隧道拱顶下沉监测可采用全站仪三角高程测量。

4 围岩收敛变形可采用极坐标法测量，也可采用收敛计进行监测。

8.6.4 隧道变形监测的各种传感器应布设在不良地质构造、断层、衬砌结构裂缝较多和其他变形敏感的部位。

8.7 测量成果整理

8.7.1 构筑物变形测量完成后，应提交下列成果资料：

- 1 变形测量技术方案；
- 2 控制点与观测点平面布置图；
- 3 仪器检验与校正资料；
- 4 变形测量成果表；
- 5 变形位移时间曲线图；
- 6 变形测量技术报告。

8.7.2 构筑物变形测量的相关资料应在竣工交验时一并移交接收单位。

9 轨道施工测量

9.1 一般规定

9.1.1 轨道工程施工前应按本规范第 3.9 节和第 4.8 节的要求建立轨道控制网 CPⅢ,并经评估或验收合格。

9.1.2 轨道施工前应对线下工程竣工测量成果进行评估,检查线路平、纵断面是否满足轨道铺设条件。必要时应对线路平、纵断面进行调整,满足铺轨要求。

9.1.3 轨道施工应以轨道控制网为依据,轨道铺设精度应满足现行《铁路轨道工程施工质量验收标准》TB 10413 的要求。

9.2 无砟轨道施工测量

9.2.1 无砟轨道混凝土底座或支承层施工放样应以 CPⅢ 轨道控制网为依据。平面放样采用全站仪自由设站坐标法测设,高程放样可采用全站仪自由设站三角高程或几何水准施测。无砟轨道混凝土底座或支承层放样时全站仪自由设站应满足下列要求:

1 使用的全站仪标称精度不低于 $2''$ 、 $2\text{ mm} + 2 \times 10^{-6} D$,使用的水准仪标称精度不低于 3 mm/km 。

2 自由设站观测的 CPⅢ 控制点不宜少于 3 对。更换测站后,相邻测站重叠观测的 CPⅢ 控制点不宜少于 1 对。

3 每次设站放样距离不宜大于 100 m 。

4 自由设站点的精度应符合表 9.2.1 的规定。

表 9.2.1 混凝土底座或支承层放样自由设站点精度要求

设计速度 V	中误差			
	m_x (mm)	m_y (mm)	m_h (mm)	定向精度 (")
120 km/h < V ≤ 200 km/h	≤ 2.0	≤ 2.0	≤ 2.0	≤ 3.0
V ≤ 120 km/h	≤ 3.0	≤ 3.0	≤ 3.0	≤ 4.5

9.2.2 轨道板或道床板施工测量应以 CPⅢ控制网为依据,并采用全站仪自由设站施测。全站仪自由设站应满足下列要求:

1 全站仪应具备自动目标搜索、自动照准、自动观测功能,标称精度不低于 1"、1 mm + 2 × 10⁻⁶D。

2 自由设站观测的 CPⅢ控制点不宜少于 4 对,测站宜设在线路中线附近且位于前后 2 对 CPⅢ控制点之间。更换测站后,相邻测站重叠观测的 CPⅢ控制点不应少于 2 对。

3 自由设站点的精度应符合表 9.2.2—1 的规定。

表 9.2.2—1 轨道板或道床板施工测量自由设站点精度要求

设计速度 V	中误差			
	m_x (mm)	m_y (mm)	m_h (mm)	定向精度 (")
120 km/h < V ≤ 200 km/h	≤ 0.7	≤ 0.7	≤ 0.7	≤ 2.0
V ≤ 120 km/h	≤ 1.2	≤ 1.2	≤ 1.2	≤ 3.0

注:连续梁、特殊孔跨桥等困难地段,自由设站点坐标中误差可放宽 1.5 倍。

4 自由设站完成后,CPⅢ控制点的坐标不符值应符合表 9.2.2—2 的规定。当出现坐标不符值超限的情况,应剔除超限的 CPⅢ控制点,但每个自由设站参与平差计算的 CPⅢ控制点不得少于 6 个。

表 9.2.2—2 CPⅢ控制点坐标不符值要求

设计速度 V	不符值		
	Δ_x (mm)	Δ_y (mm)	Δ_h (mm)
120 km/h < V ≤ 200 km/h	≤ 2.0	≤ 2.0	≤ 2.0
V ≤ 120 km/h	≤ 3.0	≤ 3.0	≤ 3.0

5 自由设站换站后,前后测站间的搭接横向和竖向较差应符合表 9.2.2—3 的规定。

表 9.2.2—3 测站搭接较差要求

设计速度 V \ 较差	横向(mm)	竖向(mm)
120 km/h < V ≤ 200 km/h	≤ 2.0	≤ 2.0
V ≤ 120 km/h	≤ 3.0	≤ 3.0

6 全站仪自由设站精度和测站搭接较差不能满足本条第 3 款~第 5 款的规定时,应检测 CPⅢ控制网精度,查明原因,必要时应复测并更新 CPⅢ控制网成果。

7 自由设站应按本规范附录 H 的要求填写自由设站测量记录手簿,记录设站信息。

9.2.3 CRTS I 型轨道板施工测量应符合下列规定:

1 混凝土底座(支承层)及凸形挡台施工测量全站仪自由设站应符合本规范第 9.2.1 条的规定,放样允许偏差应满足现行《铁路轨道工程施工质量验收标准》TB 10413 的要求。

2 轨道板精调测量应满足下列要求:

- 1) 全站仪自由设站应符合本规范第 9.2.2 条的规定。
- 2) 全站仪至精调定位棱镜之间的测量距离宜为 5 m~40 m,采用单向后退的测量方式。
- 3) 全站仪换站后,应按表 9.2.2—3 的规定进行换站搭接精度检查,满足要求后,应对搭接误差进行平滑处理。

3 轨道板铺设位置的允许偏差应符合现行《铁路轨道工程施工质量验收标准》TB 10413 的规定。

9.2.4 CRTS II 型轨道板施工测量应以 CPⅢ控制网或轨道基准网为依据,并符合下列规定:

1 混凝土底座(支承层)施工测量全站仪自由设站应符合本规范第 9.2.1 条的规定,放样允许偏差应满足现行《铁路轨道工程

施工质量验收标准》TB 10413 的要求。

2 轨道板精调测量应满足下列要求：

- 1) 全站仪自由设站应符合本规范第 9.2.2 条的规定。
- 2) 全站仪与精调定位棱镜之间的测量距离宜为 5 m～40 m,采用单向后退的测量方式。
- 3) 全站仪换站后,应按表 9.2.2—3 的规定进行换站搭接精度检查,满足要求后,应对搭接误差进行平滑处理。

3 轨道板铺设位置的允许偏差应符合现行《铁路轨道工程施工质量验收标准》TB 10413 的规定。

9.2.5 CRTSⅢ型轨道板施工测量应符合下列规定：

1 混凝土底座(支承层)施工测量全站仪自由设站应符合本规范第 9.2.1 条的规定,放样允许偏差应满足现行《铁路轨道工程施工质量验收标准》TB 10413 的要求。

2 轨道板精调测量应满足下列要求：

- 1) 全站仪自由设站应符合本规范第 9.2.2 条的规定。
- 2) 全站仪至精调定位棱镜之间的测量距离宜为 5 m～40 m,采用单向后退的测量方式。
- 3) 全站仪换站后,应按表 9.2.2—3 的规定进行换站搭接精度检查,满足要求后,应对搭接误差进行平滑处理。

3 轨道板铺设位置的允许偏差应符合现行《铁路轨道工程施工质量验收标准》TB 10413 的规定。

9.2.6 CRTSⅠ型双块式道床板施工可采用轨排框架法或轨排支撑架法,道床板施工测量应符合下列规定：

1 混凝土底座(支承层)施工测量全站仪自由设站应符合本规范第 9.2.1 条的规定,放样允许偏差应满足现行《铁路轨道工程施工质量验收标准》TB 10413 的要求。

2 轨排精调测量应满足下列要求：

- 1) 全站仪自由设站应满足本规范第 9.2.2 条的规定。
- 2) 全站仪至精调定位棱镜之间的测量距离宜为 5 m～

60 m,采用单向后退的测量方式。

- 3) 精调测量测点应设在轨排支撑架位置,其步长应不大于支撑螺杆间距。
- 4) 轨排粗调定位的允许偏差应符合现行《铁路轨道工程施工质量验收标准》TB 10413 的规定。
- 5) 轨排精调测量宜采用全站仪配合轨道几何状态测量仪。
- 6) 轨排精调全站仪换站后,应进行轨排搭接测量,且搭接长度不小于 8 根轨枕。同一轨枕换站前后横向和竖向的相对偏差均不应超过 2 mm。满足限差要求后,应采用线性或余弦函数对换站搭接偏差进行平滑处理。

3 轨排精调定位的允许偏差应符合现行《铁路轨道工程施工质量验收标准》TB 10413 的规定。

9.2.7 弹性支撑块式无砟轨道轨排精调测量可参照本规范第 9.2.6 条的规定执行。

9.3 无砟轨道道岔安装测量

9.3.1 道岔宜一次测设完成,并复核相邻道岔间相互位置。站线无砟轨道的测量宜与道岔同时进行。

9.3.2 无砟道岔两端应预留不小于 200 m 的长度作为道岔与区间无砟轨道衔接测量的调整距离。

9.3.3 道岔铺设应以 CPⅢ控制网为依据,在混凝土底座或支承层上,于岔心、岔前、岔后、岔前 100 m 和岔后 100 m 处分别测设道岔控制基标。

9.3.4 道岔控制基标和加密基标可采用全站仪自由设站坐标法测设,也可采用光学准直法测设。全站仪自由设站应满足本规范第 9.2.2 条的规定。

9.3.5 道岔精调应按“保直股、兼曲股”的原则进行调整。

9.3.6 枕式道岔无砟轨道安装测量应符合下列规定:

- 1 道岔控制基标横向允许偏差为 ± 1 mm。岔心、岔前、岔后

控制基标相对间距允许偏差为 ± 2 mm,相对高差允许偏差为 ± 1 mm。

2 道岔加密基标宜设置在道岔中线直股一侧,间距宜为5 m~10 m,转辙器、导曲线和辙叉起始点应增设加密基标。加密基标的横向允许偏差为 ± 2 mm。相邻加密基标平面相对允许偏差为 ± 2 mm,高程相对允许偏差为 ± 1 mm。

3 道岔粗调测量应以加密基标为准,道岔平面位置及高程粗调偏差限差为 ± 5 mm。

4 道岔精调可采用全站仪配合水准仪或全站仪配合轨道几何状态测量仪方法测量,并符合下列要求:

- 1) 当采用全站仪配合水准仪进行道岔精调测量时,应以道岔控制基标为依据。全站仪安置于道岔控制基标上,道岔方向调整由全站仪控制;高程调整由水准仪控制。
- 2) 当采用全站仪配合轨道几何状态测量仪进行道岔精调测量时,应以CPⅢ控制网为依据,全站仪自由设站应满足本规范第9.2.2条的规定,每测站测量距离不宜大于70 m。

5 枕式道岔精调定位允许偏差应符合现行《铁路轨道工程施工质量验收标准》TB 10413的规定。

9.3.7 板式道岔无砟轨道安装测量应以CPⅢ控制网为依据,采用全站仪自由设站方法测设,并符合下列要求:

1 全站仪自由设站应满足本规范第9.2.2条的规定。

2 道岔板角点应设置在找平层上,平面位置放样允许偏差为 ± 5 mm。

3 道岔板加密基标应设在找平层上,相邻加密基标平面相对允许偏差为 ± 1 mm,高程相对允许偏差为 ± 0.5 mm。

4 道岔板精调采用全站仪分别测量每块道岔板上的定位棱镜的三维坐标,并根据实测值与设计值的差值调整道岔板。

5 板式道岔精调定位允许偏差应符合现行《铁路轨道工程施工质量验收标准》TB 10413的规定。

9.3.8 钢轨落槽后,应采用轨道几何状态测量仪对道岔区长钢轨平顺度进行检测。道岔静态平顺度应符合现行《铁路轨道工程施工质量验收标准》TB 10413 的规定。

9.4 无砟轨道精调测量

9.4.1 长钢轨精调应在应力放散并锁定后,采用轨道几何状态测量仪进行。

9.4.2 精调测量前应对 CPⅢ 控制网进行复测,并采用复测成果进行长钢轨精调。

9.4.3 轨道精调测量前,应做好下列准备工作:

1 将线路平面、纵断面设计参数和曲线超高等数据录入轨道几何状态测量仪,并复核无误。

2 对使用的全站仪和轨道几何状态测量仪进行检校。全站仪应满足本规范附录 A 的要求;轨道几何状态测量仪应满足现行《铁路轨道检查仪》TB/T 3147 的要求。

9.4.4 全站仪自由设站应符合本规范第 9.2.2 条的规定。

9.4.5 首次轨道精调测量宜对轨道进行逐轨枕测量,采用单向后退测量方式,每一测站最大测量距离不宜超过 70 m。换站后,应对 6~10 根轨枕进行搭接测量,两次测量的同一轨枕横向和竖向相对偏差均不应超过 ± 2 mm。后续轨道精调测量亦可采用相对(惯导)轨道检查仪。

9.4.6 轨道精调测量应包括线路中线位置、轨面高程、测点里程、轨距、轨距变化率、水平、轨向、高低、扭曲等内容。

9.4.7 轨道精调前应进行模拟调整。模拟调整应遵循“先整体、后局部”“先轨向、后轨距”“先高低、后水平”的原则,并根据模拟调整结果实施轨道精调。

9.4.8 精调完成后,轨道静态平顺度应符合现行《铁路轨道工程施工质量验收标准》TB 10413 的规定。

9.5 有砟轨道铺设施工测量

9.5.1 轨道铺设施工前,应按本规范第 5.10 节的规定进行线下工程竣工测量,核实线路中线和高程贯通情况,评估轨道铺设条件。

9.5.2 轨道铺设施工测量宜以 CPⅢ 控制网为依据。当 CPⅢ 控制网未建立时,可采用 CPⅡ、线路水准点为依据进行轨道初铺。

9.5.3 轨道铺设作业前,应测设铺轨基桩。铺轨基桩测设应符合下列规定:

1 铺轨基桩宜设置在线路中线或线路两侧。基桩间距直线上不宜大于 50 m,曲线上宜为 20 m,缓和曲线上宜为 10 m。在曲线五大桩、变坡点、竖曲线起终点等处应加设基桩。

2 结合线路设计资料与基桩实测资料,计算铺轨基桩对应的线路里程、相对于基准轨的横向距离和高差。

9.5.4 铺轨基桩宜采用全站仪坐标法测设,并符合下列规定:

1 采用的全站仪标称精度不低于 $2''$ 、 $2\text{ mm}+2\times 10^{-6}D$ 。

2 基桩测设的平面坐标中误差不应大于 5 mm,高程中误差不应大于 5 mm。

3 换站测量搭接处基桩搭接允许偏差应符合表 9.5.4 的规定。

表 9.5.4 换站测量搭接处基桩搭接允许偏差要求

较 差 设计速度 V	δ_x (mm)	δ_y (mm)	δ_h (mm)
$160\text{ km/h}<V\leq 200\text{ km/h}$	≤ 6	≤ 6	≤ 6
$120\text{ km/h}<V\leq 160\text{ km/h}$	≤ 8	≤ 8	≤ 8
$V\leq 120\text{ km/h}$	≤ 10	≤ 10	≤ 10

9.5.5 对于设计行车速度 $V\leq 120\text{ km/h}$ 的客货共线有砟轨道铁路,可采用 GNSS RTK 法测设铺轨基桩,铺轨基桩平面位置偏差 $\leq 10\text{ mm}$,高程偏差 $\leq 15\text{ mm}$ 。

9.5.6 经分层上砟整道后,线路应达到初期稳定状态,并符合现

行《铁路轨道工程施工质量验收标准》TB 10413 的规定。

9.6 有砟轨道道岔安装测量

9.6.1 道岔宜一次测设完成,道岔两端应预留不小于 200 m 的长度作为道岔与区间有砟轨道衔接的调整距离。

9.6.2 有砟轨道道岔安装测量应以轨道控制网 CPⅢ 为依据,采用全站仪自由设站测量,并符合下列规定:

1 全站仪标称精度不低于 $1''$ 、 $1\text{ mm}+2\times 10^{-6}D$ 。

2 当 CPⅢ 控制网为自由设站边角交会网时,全站仪自由设站观测的 CPⅢ 控制点不应少于 4 个。更换测站后,相邻测站重叠观测的 CPⅢ 控制点不应少于 2 个。

1) 自由设站完成后,CPⅢ 控制点坐标残差应符合表 9.6.2—1 的规定。

表 9.6.2—1 CPⅢ 控制点坐标残差要求

设计速度 V \ 残 差	$\delta_x(\text{mm})$	$\delta_y(\text{mm})$	$\delta_h(\text{mm})$
$160\text{ km/h}<V\leq 200\text{ km/h}$	≤ 3	≤ 3	≤ 3
$120\text{ km/h}<V\leq 160\text{ km/h}$	≤ 4	≤ 4	≤ 4
$V\leq 120\text{ km/h}$	≤ 5	≤ 5	≤ 5

2) 换站后,前后测站间的搭接横向和竖向偏差较差应满足表 9.6.2—2 的规定。

表 9.6.2—2 测站搭接较差要求

设计速度 V \ 较 差	横向偏差(mm)	竖向偏差(mm)
$160\text{ km/h}<V\leq 200\text{ km/h}$	≤ 3	≤ 3
$120\text{ km/h}<V\leq 160\text{ km/h}$	≤ 4	≤ 4
$V\leq 120\text{ km/h}$	≤ 5	≤ 5

3 当 CPⅢ控制网采用单导线测设时,宜采用全站仪自由设站,后视 CPⅢ控制点不应少于 3 个。更换测站后,相邻测站重叠观测的 CPⅢ控制点不应少于 1 个。

1) 自由设站完成后,CPⅢ控制点坐标残差应符合表 9.6.2—3 的规定。

表 9.6.2—3 单导线测设时 CPⅢ控制点坐标残差要求

设计速度 V \ 残 差	δ_x (mm)	δ_y (mm)	δ_h (mm)
$V \leq 120$ km/h	≤ 5	≤ 5	≤ 5

2) 换站后,前后测站间的搭接横向和竖向偏差较差应满足表 9.6.2—4 的规定。

表 9.6.2—4 单导线测设时测站搭接较差要求

设计速度 V \ 较 差	横向偏差(mm)	竖向偏差(mm)
$V \leq 120$ km/h	≤ 5	≤ 5

9.6.3 采用全站仪坐标法在道岔的岔前、岔心、岔后及岔前 200 m 和岔后 200 m 处测设道岔控制基标。道岔控制基标放样的横向允许偏差为 5 mm,高程测量误差为 ± 5 mm。

9.6.4 道岔安装完成后,应采用轨道几何状态测量仪对道岔区长钢轨平顺度进行检测。道岔静态平顺度应符合现行《铁路轨道工程施工质量验收标准》TB 10413 的规定。

9.7 有砟轨道精调测量

9.7.1 轨道精调测量应在线路达到初期稳定状态,采用轨道几何状态测量仪或相对(惯导)轨道检查仪等设备进行有砟轨道精调测量。

9.7.2 轨道精调测量应以 CPⅢ控制网为依据,采用全站仪自由

设站法测量。全站仪自由设站应符合本规范第 9.6.2 条的规定。

9.7.3 轨道精调前,应按本规范第 9.4.3 条的规定进行线路参数录入和设备检校。

9.7.4 轨道测量步长不宜大于 5 m,宜采用单向前退测量方式,每一测站测量距离不宜超过 150 m。

9.7.5 全站仪换站后应进行搭接测量,搭接长度不应小于 20 m。搭接点间横向、竖向搭接允许偏差均不超过 ± 5 mm。当搭接区段搭接误差满足允许偏差后,应对搭接区段进行平滑处理。

9.7.6 轨道测量后,应根据大机整道的需要提供起、拨道量数据。

9.7.7 轨道精调完成后,应采用轨道几何状态测量仪对长钢轨平顺度进行检测。轨道静态平顺度应符合现行《铁路轨道工程施工质量验收标准》TB 10413 的规定。

10 竣工测量

10.1 一般规定

10.1.1 竣工测量应包括控制网竣工复测、线路竣工测量、竣工地形图测量和铁路用地界测量。

10.1.2 竣工测量采用的坐标系统、高程系统、图式等应与施工图设计一致。

10.1.3 竣工测量内容及成果资料的编制应满足铁路工程竣工验收的要求。

10.2 线路竣工测量

10.2.1 控制网竣工复测应包括 CP I 控制网、线上加密 CP II 控制点、隧道洞内 CP II 控制点、CP III 控制网、线路水准基点和线上加密水准基点复测,宜与长钢轨精调前控制网复测一并进行。

10.2.2 线路竣工测量包括线路里程贯通测量、线路平面和纵断面竣工测量、线路横断面竣工测量、线下工程建筑及线路设备竣工测量。

10.2.3 线路里程贯通测量应满足下列规定:

1 根据轨道施工的线路设计参数,贯通全线里程。线路里程应采用线路中心坐标进行里程贯通计算,左右线并行地段以左线贯通里程,绕行地段分别计算里程。

2 根据贯通里程计算曲线五大桩、变坡点及竖曲线起终点里程,测设公里标和半公里标并标注,测量立交道中心、涵洞中心、桥梁台前、台尾及桥梁中心、隧道进出口、隧道内断面变化处、车站中心、支挡工程的起终点里程。

3 里程测量宜采用线路中心坐标进行里程贯通计算。

10.2.4 线路平面和纵断面竣工测量宜采用轨道几何状态测量仪测量线路中线位置、轨面高程等数据,并与线路平、纵面设计数据进行比较。

10.2.5 线路横断面竣工测量包括路基、桥梁、隧道等线下工程的横断面测量,除了按本规范第 5.10 节的规定测量外,还应测量线路两侧的砟肩/轨道板顶、砟脚/轨道板底等标高变化点。

10.2.6 线下工程建筑及线路设备竣工测量应包括下列内容:

1 隧道、桥涵、路基工程,车站及其附属建筑物竣工测量。

2 线路沿线设备接触网、行车信号与线路标志等主要设备的竣工测量。

10.2.7 隧道、桥涵、路基工程,车站及其附属建筑物竣工测量应满足竣工图编制和竣工验收的要求,测量方法和精度与施工测量相同。

10.2.8 线路沿线设备接触网、行车信号与线路标志等设备的竣工测量应按站后相关专业验收标准进行测量。

10.3 竣工地形图及铁路用地界测量

10.3.1 铁路用地界桩测量应根据铁路用地图,利用 CP I、CP II、CP III 控制网采用全站仪极坐标法、全站仪自由设站法或 GNSS RTK 进行测设。

10.3.2 沿线路两侧每隔 300 m~500 m 及地界宽度变化处均应埋设地界桩,地界桩的点位测量中误差不应大于 5 cm。

10.3.3 线路竣工地形图测量范围应满足用图单位的需要,一般为铁路两侧各 100 m(站场由最外股道起算),特殊情况至少包括铁路用地界外 50 m。线路竣工地形图比例尺为 1:2 000;站场竣工地形图比例尺为 1:1 000。

10.3.4 线路竣工地形图宜采用航测方法测绘,也可利用线路施工平面图进行修测。

10.3.5 地形图测量的技术要求应按本规范第 5.2 节的规定执行。

10.4 竣工测量资料整理及交验

10.4.1 竣工测量完成后,由竣工测量单位按照新建铁路竣工验收的要求编制竣工测量文件。

10.4.2 竣工测量文件应包括下列资料:

1 CP I、线上加密 CP II、隧道洞内 CP II、CP III 控制点、线路水准基点、线上加密水准基点、铁路用地界桩坐标成果及点之记。

2 轨道几何状态竣工测量成果,包括线路中线位置、轨面高程、轨距、水平、高低、扭曲等。

3 线路竣工平面图,纵、横断面图。

4 构筑物的竣工图。

5 线路沿线设备竣工测量成果,包括接触网、行车信号与线路标志等主要设备的竣工测量成果。

6 构筑物变形测量成果,包括变形监测基准点、工作基点、变形监测点以及构筑物变形监测成果。

7 竣工测量报告。

10.4.3 竣工测量文件应由建设单位组织统一归档,并移交给运营管理部门。

附录 A 全站仪技术要求

A. 0. 1 全站仪应按仪器说明书正确使用。

A. 0. 2 新购的全站仪,在使用前应进行检定,仪器修理后应重新检定。用于线路、桥梁、隧道控制测量的全站仪,每年应检定一次,在使用过程中发现异常情况应及时检定;用于线路中线测量的全站仪,应定期与精度不低于 1/100 000 的已知边长或自设的专用基线比长,比测的误差超过标称误差的 2 倍时,应进行检定。

全站仪测距检定的精度要求应符合国家现行《中、短程光电测距规范》GB/T 16818—2008 的规定。

A. 0. 3 全站仪作业要求应符合下列规定:

- 1 应检校三轴的平行性与圆水准器及光学对中器。
- 2 视线宜高出地面和离开障碍物 1. 2 m 以上。
- 3 视线应避免通过受电、磁场干扰的地方,一般要求离开高压线 2 m~5 m。
- 4 视线宜避免通过发热体(如散热塔、烟囱等)。
- 5 视线背景应避免反光体,在反射光束范围内,不得同时出现两个反射器,测距时对讲机应避免距离仪器太近。
- 6 在低气温下作业时,应有一定的预热时间,使仪器各电子部件达到正常稳定的工作状态,方可测距。
- 7 在晴天作业时,仪器应打伞,严禁将照准头对向太阳。
- 8 避免在烟、尘、雨、雾、霜、雪、雷、电及四级以上大风等不利条件下测距。

A. 0. 4 全站仪的测角应在仪器有效检定期内。每个项目作业前应进行下列项目的检验:

- 1 照准部旋转轴正确性指标:管水准器气泡或电子水准器长

气泡在各位置的读数较差,0.5″级和1″级仪器不应超过2格,2″级仪器不应超过1格,6″级仪器不应超过1.5格。

2 隙动差指标:0.5″级和1″级仪器不应大于1″,2″级仪器不应大于2″。

3 水平轴不垂直于垂直轴之差指标:0.5″级和1″级仪器不应超过10″,2″级仪器不应超过15″,6″级仪器不应超过20″。

4 补偿器的补偿要求,在仪器补偿器的补偿区间,对观测成果应能进行有效补偿。

5 垂直微动螺旋使用时,视准轴在水平方向上不产生偏移。

6 照准部旋转时,仪器基座的位移指标:0.5″级和1″级仪器不应超过0.3″,2″级仪器不应超过1″,6″级仪器不应超过1.5″。

7 光学(或激光)对点器的对中误差不应大于1 mm。

A.0.5 全站仪测距及辅助工具的检校,应符合下列规定:

1 新购置的仪器或大修后,应进行全面检校。

2 气象仪表应送气象部门按有关规定检测。当在高海拔地区使用空盒气压计时,宜送当地气象台(站)校准。

3 测尺频率的校正精度应高于 1×10^{-6} 。

4 周期误差的振幅不应大于仪器标称精度中固定误差的0.6倍,检定中误差不应大于0.5 mm。

5 加常数的检定中误差不应大于仪器标称精度中固定误差的0.5倍;乘常数的检定中误差不应大于仪器标称精度中比例误差系数的0.75倍。

6 光学对中器旋转 180° 时,先后标定的两点应重合,对中误差不应大于1 mm。

7 安置反射器的对中杆使用前应检查圆水准的正确性;安置反射器的光学对中器旋转 180° 时,先后标定的两点应重合,对中误差不应大于1 mm。

附录 B 控制点埋石图及标识

B.1 控制点标志

B.1.1 控制点标志材料宜采用不锈钢制作。不锈钢标志可采用直径为 20 mm、长度为 20 mm~30 mm 不锈钢材料,下部采用普通钢筋焊接而成。

B.1.2 标志规格应符合图 B.1.2 的规定。

B.2 平面控制点标石的埋设

B.2.1 建筑物顶上设置标石,标石应和建筑物顶面牢固连接。建筑物上平面控制点标石设置规格应符合图 B.2.1 的规定。

B.2.2 CP0 及一等控制点标石埋设规格应符合图 B.2.2 的规定。

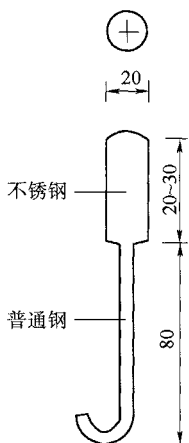


图 B.1.2 控制点标志
(单位:mm)

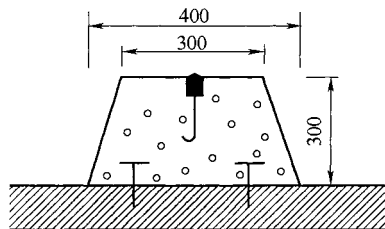


图 B.2.1 建筑物上平面
控制点标石(单位:mm)

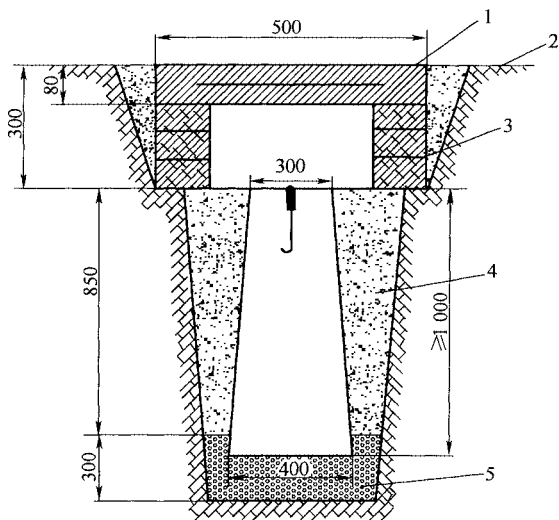


图 B. 2. 2 CP0 及一等平面控制点标石埋设图(单位:mm)

1—盖板;2—地面;3—保护井;4—素土;5—混凝土

B. 2. 3 二等平面控制点标石埋设规格应符合图 B. 2. 3 的规定。

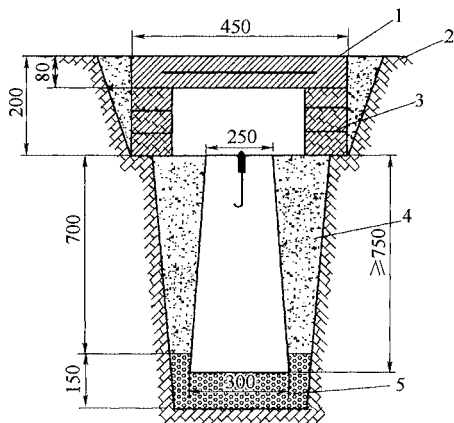


图 B. 2. 3 二等平面控制点标石埋设图(单位:mm)

1—盖板;2—地面;3—保护井;4—素土;5—混凝土

B. 2. 4 三等、四等平面控制点标石埋设规格应符合图 B. 2. 4 的规定。

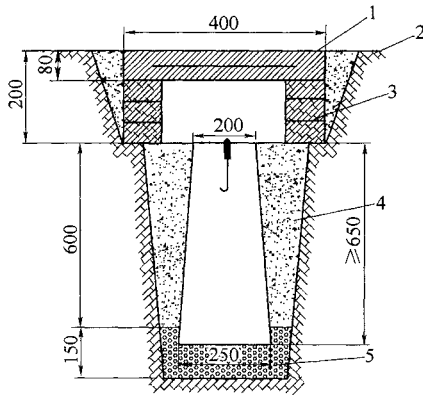


图 B. 2. 4 三等、四等平面控制点标石埋设图(单位: mm)

1—盖板; 2—地面; 3—保护井; 4—素土; 5—混凝土

B. 2. 5 五等及以下平面控制点标石埋设规格应符合图 B. 2. 5 的规定。

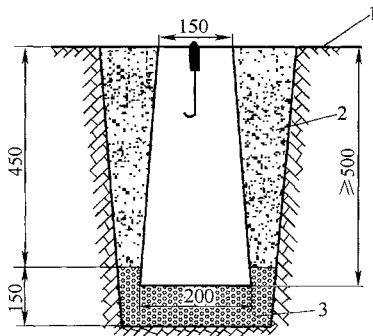


图 B. 2. 5 五等及以下平面控制点标石埋设图(单位: mm)

1—地面; 2—素土; 3—混凝土

B. 3 水准点标石的埋设

B. 3. 1 二等水准点标石埋设规格应符合图 B. 3. 1 的规定。

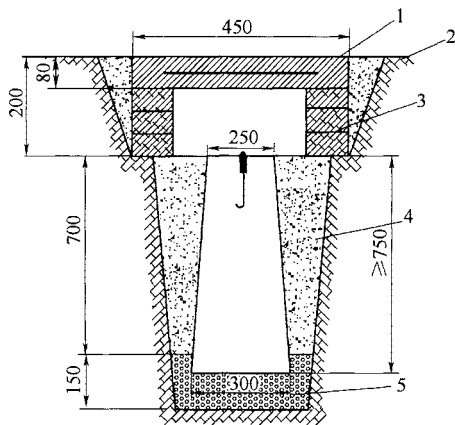


图 B. 3. 1 二等水准点标石埋设图(单位:mm)

1—盖板;2—地面;3—保护井;4—素土;5—混凝土

B. 3. 2 三等水准点标石埋设规格应符合图 B. 3. 2 的规定。

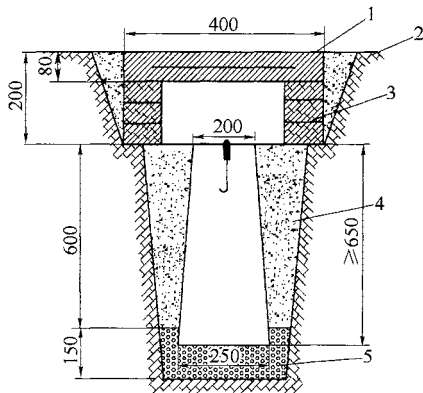


图 B. 3. 2 三等水准点标石埋设图(单位:mm)

1—盖板;2—地面;3—保护井;4—素土;5—混凝土

B. 3. 3 四等及以下水准点标石埋设规格应符合图 B. 3. 3 的规定。

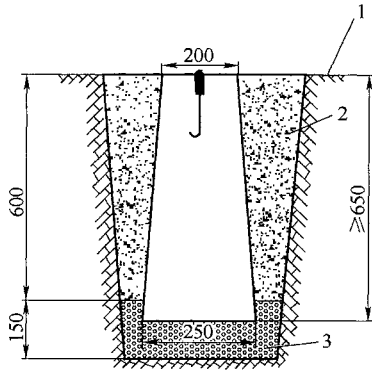


图 B. 3. 3 四等水准点标石埋设图(单位:mm)
1—地面;2—素土;3—混凝土

B. 3. 4 水准基点墙脚标石埋设规格应符合图 B. 3. 4 的规定。

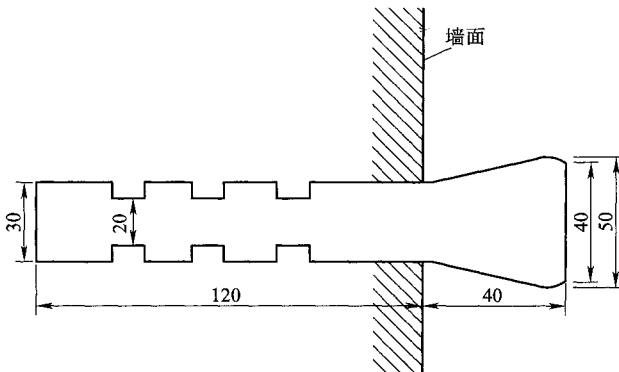


图 B. 3. 4 墙脚水准基点标石埋设图(单位:mm)

B. 3. 5 基岩水准点、深埋水准点埋设规格应符合图 B. 3. 5 的规定。

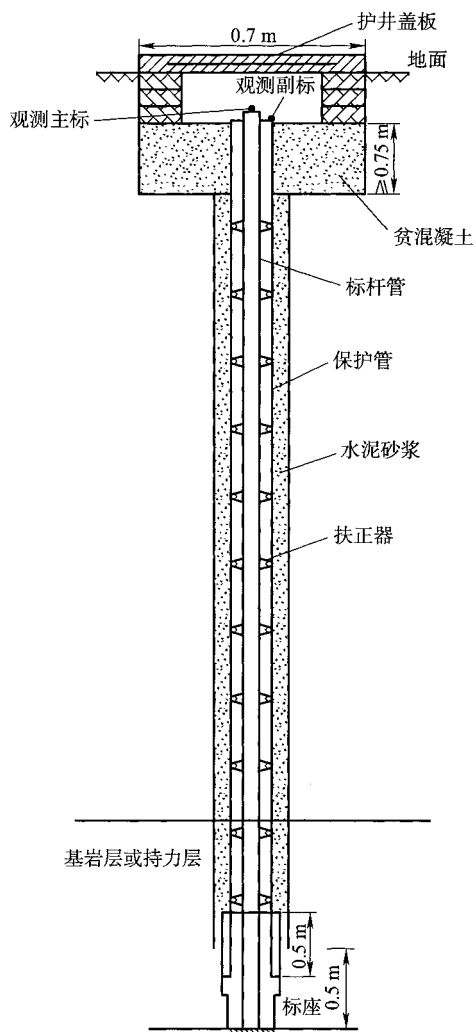


图 B. 3. 5 基岩水准点、深埋水准点规格及埋设图

注:基岩水准点应达到基岩,深埋水准点埋设深度应达到稳定的持力层

B.4 CPⅢ控制点的埋设要求

B.4.1 CPⅢ自由测站边角交会网的控制点埋设要求

1 元器件制作要求如下：

- 1) CPⅢ控制点元器件应采用不易生锈和腐蚀的不锈钢材料精密制作,由预埋件分别与平面、高程连接件组成。元器件制作时各圆的同轴度为 $\phi 0.05\text{ mm}$ 。
- 2) 预埋件与连接件间应采用 M15×1.5 螺纹连接,预埋件定位顶面至棱镜中心的长度应为 150 mm。
- 3) 同一连接件在不同预埋件及不同连接件在同一预埋件重复连接后,棱镜中心的空间位置偏差不应超过 $\pm 0.5\text{ mm}$ 。

2 元器件制作尺寸参考图

元器件制作尺寸参考图如图 B.4.1—1~图 B.4.1—3 所示。

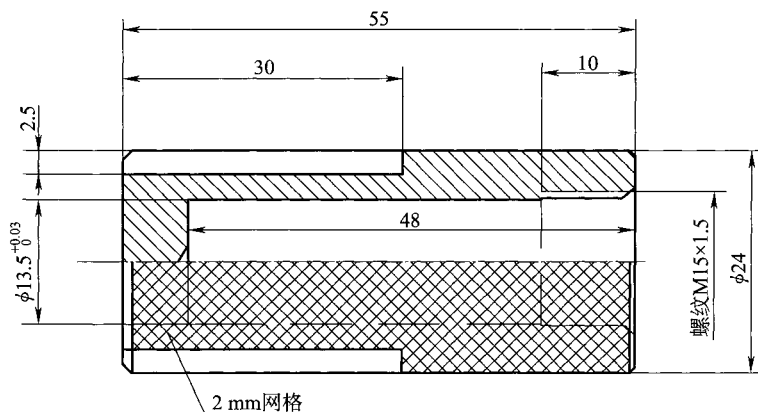


图 B.4.1—1 CPⅢ控制点预埋件制作尺寸参考图(单位:mm)

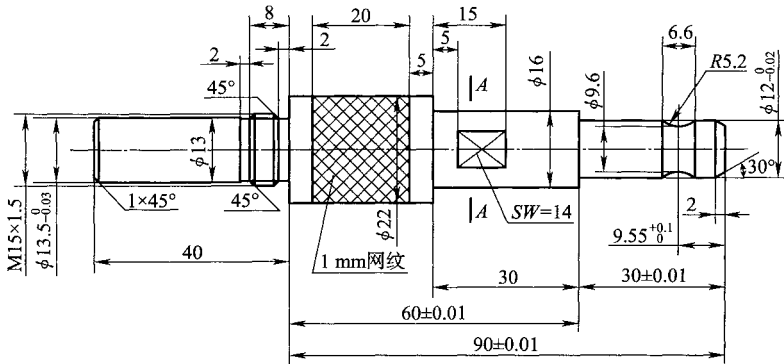


图 B. 4. 1—2 CPⅢ控制点平面连接件制作尺寸参考图(单位:mm)

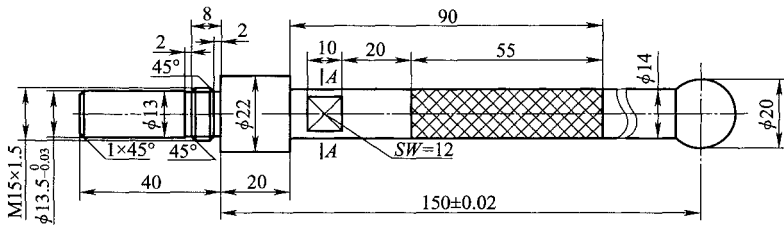


图 B. 4. 1—3 CPⅢ控制点高程连接件制作尺寸参考图(单位:mm)

3 CPⅢ控制点埋设要求如下:

- 1) 路基地段 CPⅢ控制桩一般设于接触网支柱扩大基础上, CPⅢ预埋件埋设位置如图 B. 4. 1—4 所示。

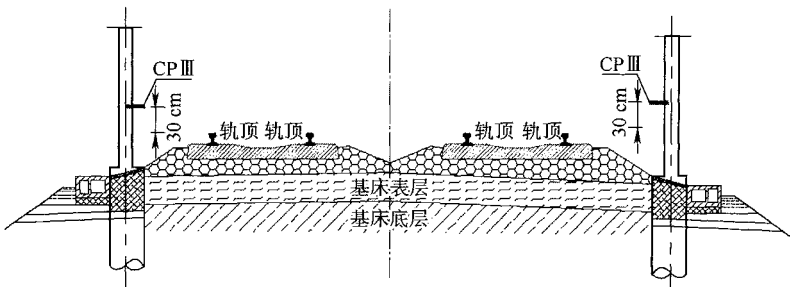


图 B. 4. 1—4 路基地段 CPⅢ预埋件埋设位置示意图

2) 桥梁地段一般布置在桥固定支座端上方防护墙上,如图 B. 4. 1—5 所示。

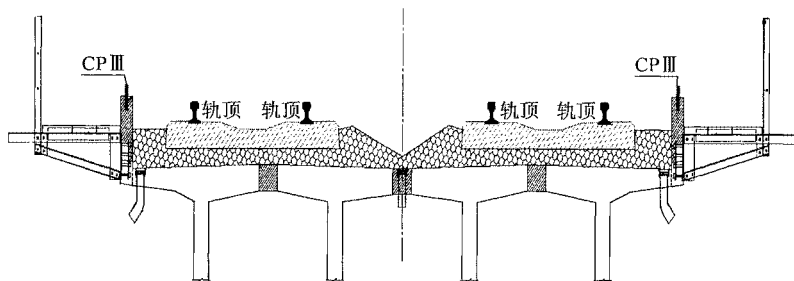


图 B. 4. 1—5 桥梁地段 CP III 预埋件埋设位置示意图

3) 隧道地段一般布置在电缆槽顶面上方 300 mm~500 mm 的边墙内衬上,如图 B. 4. 1—6 所示。

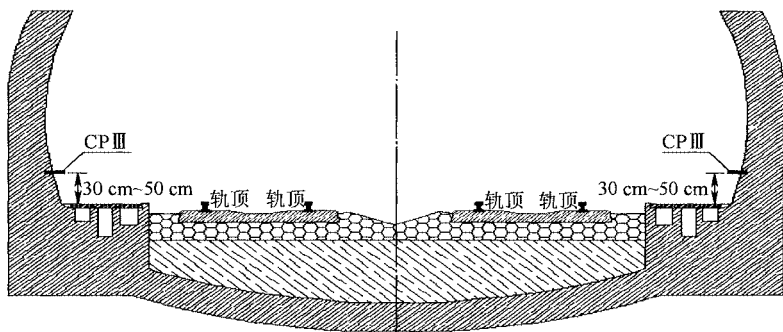


图 B. 4. 1—6 隧道地段 CP III 预埋件埋设位置示意图

4) 车站地段 CP III 控制点的埋设位置应根据现场情况确定。一般选择在站台墙侧面、接触网支柱或雨棚柱旁(埋设方式参照路基地段),也可单独埋设在不影响行车安全及其他设施设备安装的位置。

4 在 CP III 控制点旁边应清晰、明显地设置点号标识。点号

标识宜采用统一字模,字高为 50 mm 的正楷字体;采用白色油漆抹底,黑色油漆喷写点号。点号标识规格为 300 mm×200 mm,应注明 CPⅢ 编号,如图 B. 4. 1—7 所示。

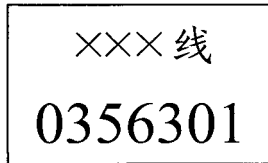


图 B. 4. 1—7 CPⅢ点标识示意图

5 CPⅢ控制点编号原则如下:

CPⅢ控制点按照公里数递增进行编号,其编号反映里程数。位于线路里程增大方向左侧的 CPⅢ点编号为奇数,位于线路里程增大方向右侧的 CPⅢ点编号为偶数,在有长短链地段应注意编号不能重复,见表 B. 4. 1。

表 B. 4. 1 CPⅢ点名编号原则

点编号	含 义	在里程内点的位置
0356301	表示线路里程 DK356 范围内线路里程增大方向左侧的 CPⅢ第 1 号点,“3”代表“CPⅢ”	(线路左侧)奇数 1、3、5、7、9、11 等
0356302	表示线路里程 DK356 范围内线路里程增大方向右侧的 CPⅢ第 2 号点,“3”代表“CPⅢ”	(线路右侧)偶数 2、4、6、8、10、12 等

B. 4. 2 CPⅢ导线点埋设要求

1 观测标志制作要求如下:

- 1) CPⅢ导线点观测标志应采用不易生锈及腐蚀的金属材料制作,标心刻“+”。
- 2) CPⅢ导线点观测标志制作尺寸应符合图 B. 4. 2—1 的要求。

2 CPⅢ导线点埋设要求如下:

- 1) CPⅢ导线点距线路中线距离宜为 2.5 m~4 m, 间距宜为 120 m~150 m, 相邻点应相互通视, 点位宜按左右侧交替埋设, 也可在铁路同侧埋设。
- 2) CPⅢ导线点标志顶应露出标石顶面 5 mm~10 mm。
- 3) 路基地段 CPⅢ导线点宜埋设在接触网支柱拉线基础内侧方便架设全站仪的地方, 也可在路肩处单独埋设, 标石埋设规格应符合图 B. 4. 2—2 的规定。
- 4) 桥梁地段 CPⅢ导线控制点一般布置在固定支座端上方防护墙顶方便架设全站仪的地方。
- 5) 隧道地段 CPⅢ导线控制点一般布置在电缆槽顶方便架设全站仪的地方。

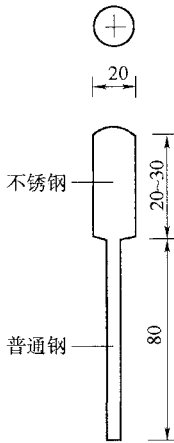


图 B. 4. 2—1 CPⅢ导线点
观测标志制作尺寸参考图
(单位: mm)

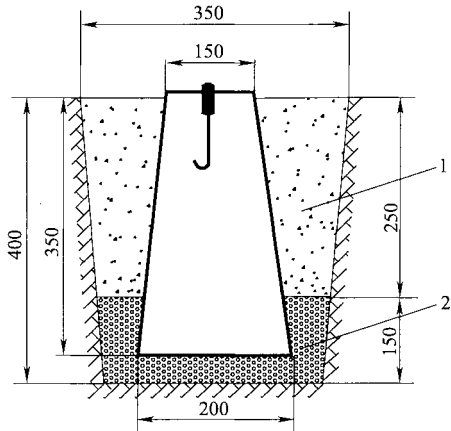


图 B. 4. 2—2 CPⅢ导线控制点
标石埋设图(单位: mm)
1—路基填料或混凝土; 2—混凝土

3 CPⅢ导线控制点按照公里数递增进行编号, 其编号反映

里程数,应按以下原则进行编号:××××301、××××302,其中“××××”为线路里程,“3”代表“CPⅢ”。如K179+000至K180+000范围内按里程增长方向,CPⅢ导线控制点编号可为“0179301、0179302、……”。

4 CPⅢ导线点点号标识规格参照图 B.4.1—7 的规定执行。

B.5 线路定测标志桩尺寸

B.5.1 方桩顶面为 40 mm×40 mm,若为圆桩,顶面直径为 40 mm,桩长 300 mm~350 mm。

B.5.2 板桩尺寸宜为宽 40 mm~50 mm,厚 10 mm~15 mm,桩长 300 mm~350 mm。

B.6 控制点标识

B.6.1 采用混凝土埋石的 CP0、CPⅠ、CPⅡ控制点及水准基点的标志注字如图 B.6.1 所示,在混凝土的表面上应注明线名、点号等。

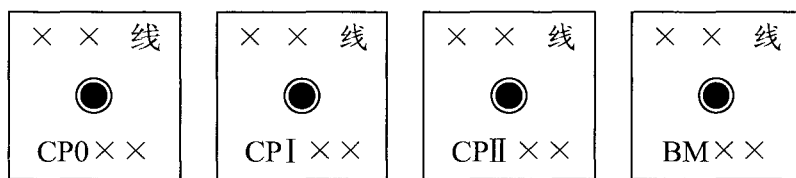


图 B.6.1 CP0、CPⅠ、CPⅡ控制点及水准基点标识示意图

B.6.2 隧道贯通后在洞内测设的线路中线桩、控制点、水准点等应在点位附近相应的隧道边墙上标识(图 B.6.2),标志框内以白油漆刷底色,以红油漆书写文字和数字。

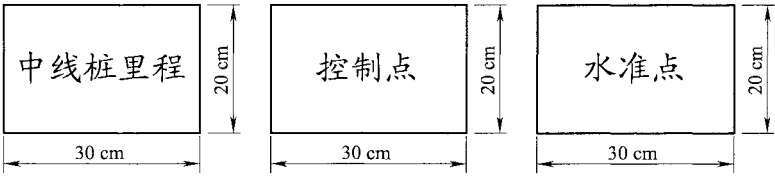


图 B. 6. 2 隧道内诸点标识示意图

附录 C 控制点点之记

×××点之记

工程名称:

第 页 共 页

点 名		等 级	
详细位置图	标石断面图		
点位详细说明	(点位近视图片)		
所在地及交通路线	(点位远景、远视图片)		
标石类型	概略坐标(CGCS2000)		
选埋单位	B= L=		
选 埋 者	选埋日期		
备 注			

附录 D 水准仪、水准尺技术要求

D.1 仪器作业要求

D.1.1 所使用水准仪应在仪器有效检定期内。每个项目作业前应进行下列项目的检验：

1 水准仪视准轴与水准管轴的夹角 i ，在作业开始的第一周内应每天测定一次， i 角稳定后可每隔 15 d 左右测定一次，DS₀₅、DS₃ 级不应超过 15″，DS₃ 级不应超过 20″。

2 水准仪光学测微器的使用应正确，其分划值的平均值与名义值之差应不超过 0.001 mm。

3 补偿式自动安平水准仪的补偿误差 Δa 对于二等水准测量不应超过 0.2″，三、四等水准测量不应超过 0.5″。

D.1.2 水准尺应满足下列要求：

1 水准尺上的米间隔平均长与名义长之差：因瓦水准标尺不应超过 0.15 mm；条行码尺不应超过 0.10 mm；木质双面标尺不应超过 0.5 mm。

2 当水准标尺位于垂直位置时，水准标尺的圆水准器气泡应居中。

3 水准尺分划面弯曲差（矢距），对于线条式因瓦水准标尺不应超过 4 mm，对区格式水准标尺不应超过 8 mm。

D.2 仪器的检校

D.2.1 用于水准测量的仪器应送计量检定单位进行检定和校准，并在检定和校准的有效期内使用。

D.2.2 水准仪检校项目按表 D.2.2 的规定执行，检验方法和技术要求按《国家一、二等水准测量规范》GB/T 12897—2006 附录 B

的规定执行。

表 D.2.2 水准仪检校项目

序号	仪器	检验项目	新仪器	作业前	跨河水准测量
1	水准标尺	标尺的检视	+	+	+
2		标尺上的圆水准器的检校	+	+	+
3		标尺分划面弯曲差的测定	+	+	+
4		标尺名义米长及分划偶然中误差的测定	+	+	+
5		标尺温度膨胀系数的测定	+		
6		一对水准标尺零点不等差的测定(条码标尺),一对水准标尺零点不等差及基辅分划读数差的测定	+	+	+
7	水准仪	标尺中轴线与标尺底面垂直性测定	+		
8		水准仪的检视	+	+	+
9		水准仪上概图水准器的检校	+	+	+
10		光学测微器隙动差和分划值测定	+	+	+
11		视线观测中误差的测定	+		
12		自动安平水准仪补偿误差的测定	+		
13		十字丝的检校	+		
14		数字水准仪视线距离测量误差	+		
15		调焦透镜运行误差的测定	+		
16		气泡式水准仪交叉误差的检校	+		+
17		i 角检校	+	+	+
18		双摆位自动安平水准仪摆差 $2C$ 角的测定	+	+	+
19		测站高差观测中误差和竖轴误差的测定	+	+	+
20		自动安平水准仪磁致误差的测定	+		
21		倾斜螺旋隙动差、分划误差和分划值的测定	+		
22		符合水准器分划值的测定			+
23		系统分辨率检定	+		

注:表中“+”表示应检验的项目。当所使用的仪器和测量方法与该项检验无关时,可不作检验。表中4、5、20、23项的检验由法定计量检定单位进行。

附录 E 洞内 CP II 自由测站 边角交会测量构网形式

E.0.1 洞内 CP II 自由测站边角交会测量宜采用图 E.0.1 所示的构网形式。除首尾两对洞内 CP II 控制点有 3 个测站的方向和距离观测值外,其余每个洞内 CP II 控制点有 4 个测站的方向和距离观测值。

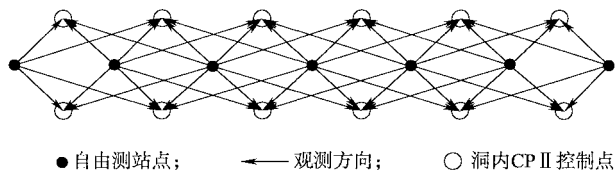


图 E.0.1 洞内 CP II 自由测站边角交会测量构网图

E.0.2 在隧道进、出口处应至少与 2 个洞外平面控制点联测,联测时可采用在洞外平面控制点置镜观测的方式,其观测图形如图 E.0.2—1 所示;亦可采用在自由测站置镜观测洞外平面控制点的方式,其观测图形如图 E.0.2—2 所示。当洞内施工控制点保存完好时,应与洞内施工控制点联测。

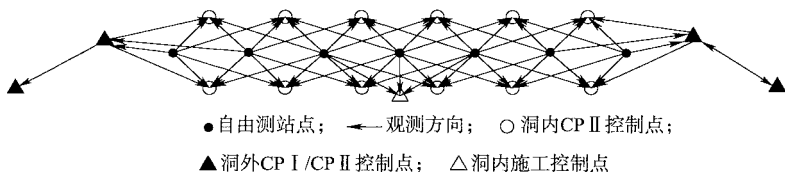


图 E.0.2—1 在洞外平面控制点置镜观测洞内 CP II 控制点的观测网图

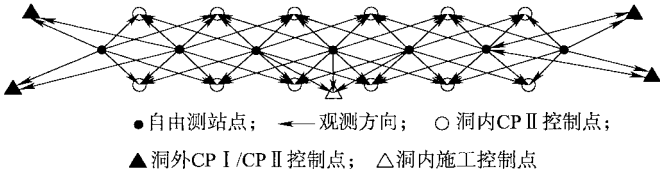


图 E. 0. 2—2 在自由测站置镜观测洞外平面控制点的观测网图

附录 F CPⅢ控制网构网形式

F.1 CPⅢ平面控制网构网图形

F.1.1 点对布设形式的 CPⅢ平面控制网宜采用图 F.1.1—1 所示的构网形式,每个 CPⅢ控制点应有三个方向交会。

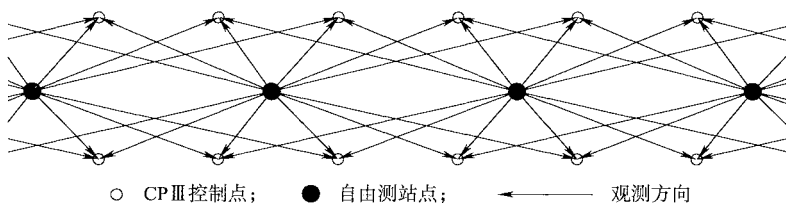


图 F.1.1—1 间隔 2 对点设站的 CPⅢ平面网观测网形示意图

因遇施工干扰或观测条件稍差时,CPⅢ平面控制网可采用图 F.1.1—2 所示的构网形式,每个 CPⅢ控制点应有四个方向交会。

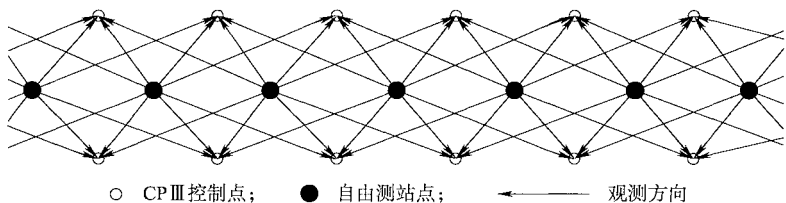


图 F.1.1—2 间隔 1 对点设站的 CPⅢ平面网观测网形示意图

F.1.2 单点布设形式的 CPⅢ平面控制网宜采用图 F.1.2—1 所示的构网形式。平面观测测站间距应为 120 m 左右,每个 CPⅢ控制点应有三个方向交会。

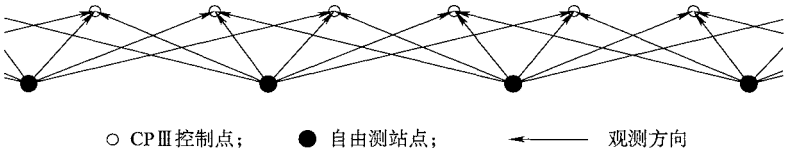


图 F. 1. 2—1 间隔 2 个点设站的 CPⅢ平面网观测网形示意图

因遇施工干扰或观测条件稍差时，CPⅢ平面控制网可采用图 F. 1. 2—2 所示的构网形式，每个 CPⅢ控制点应有四个方向交会。

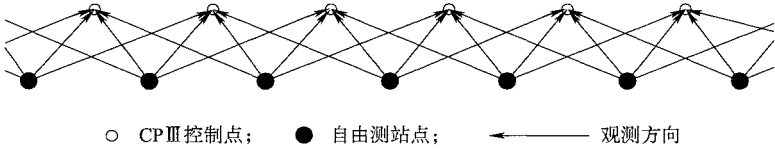


图 F. 1. 2—2 间隔 1 个点设站的 CPⅢ平面网观测网形示意图

F. 1. 3 点对布设形式的 CPⅢ平面网与加密 CPⅡ控制点联测可以通过自由测站置镜观测 CPⅡ控制点，或采用在 CPⅡ控制点置镜观测 CPⅢ点。

1 当采用在自由测站置镜观测 CPⅡ控制点时，应在 2 个及以上连续的自由测站上置镜观测 CPⅡ控制点，其观测图形如图 F. 1. 3—1 所示。

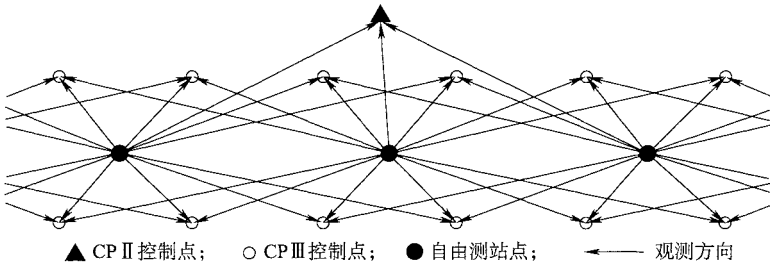


图 F. 1. 3—1 在自由测站置镜观测 CPⅡ控制点的观测网形示意图

2 当采用在 CPⅡ控制点上置镜联测 CPⅢ时，联测 CPⅢ的数量应不少于 3 个，其观测图形如图 F. 1. 3—2 所示。

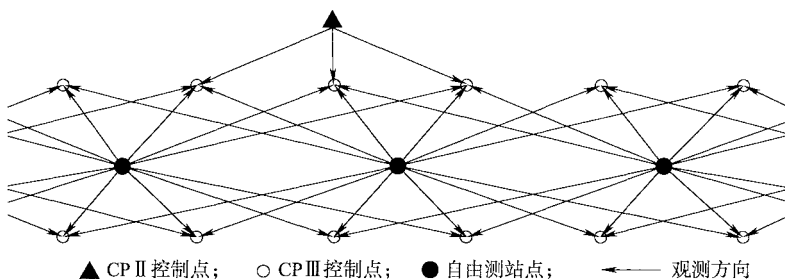


图 F.1.3—2 在 CP II 控制点置镜观测 CP III 点的观测网形示意图

F.1.4 单点布设形式的 CP III 平面网与 CP II 控制点联测可以通过自由测站置镜观测 CP II 控制点,或采用在 CP II 控制点置镜观测 CP III 点。

1 当采用在自由测站置镜观测 CP II 控制点时,应在 2 个及以上连续的自由测站上置镜观测 CP II 控制点,其观测图形如图 F.1.4—1 所示。

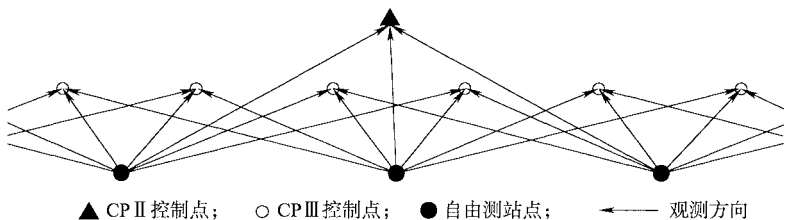


图 F.1.4—1 在自由测站置镜观测 CP II 控制点的观测网形示意图

2 当采用在线上加密 CP II 控制点上置镜联测 CP III 时,联测 CP III 的数量应不少于 3 个,其观测图形如图 F.1.4—2 所示。

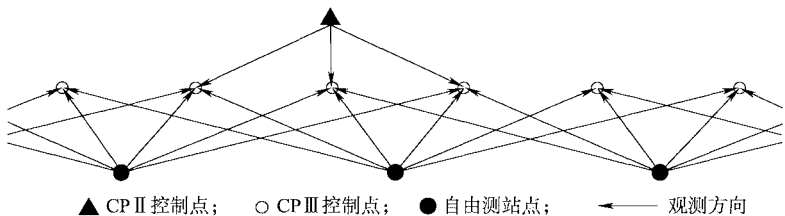


图 F.1.4—2 在 CP II 控制点置镜观测 CP III 点的观测网形示意图

F.2 CPⅢ控制网高程测量的水准路线形式

F.2.1 CPⅢ控制点高程水准测量应采用图 F.2.1 所示的水准路线形式。测量时,第一个闭合环的四个高差应由两个独立测站观测完成,其他闭合环的三个高差可由一个测站按照后-前-前-后或前-后-后-前的顺序进行单程观测。

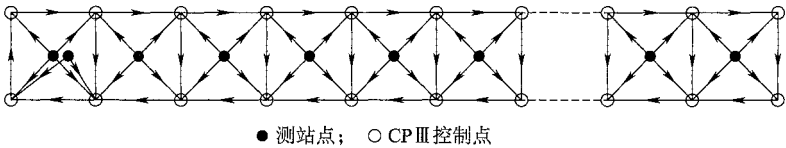


图 F.2.1 矩形环单程 CPⅢ水准网测量观测示意图

F.2.2 CPⅢ控制网水准测量单程观测所形成的闭合环如图 F.2.2 所示。

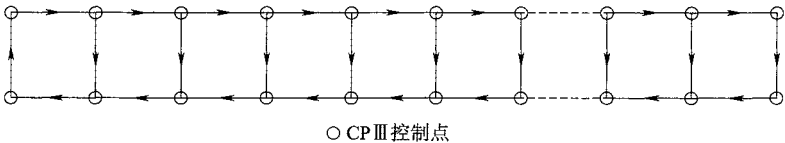


图 F.2.2 CPⅢ水准网单程观测形成的闭合环示意图

F.3 CPⅢ控制网自由测站三角高程测量构网形式

F.3.1 采用点对布设的 CPⅢ控制网,多个测站三角高程测量所形成的相邻 CPⅢ点间高差如图 F.3.1 所示。

F.3.2 采用单点布设的 CPⅢ控制网,多个测站三角高程测量所形成的相邻 CPⅢ点间高差如图 F.3.2 所示。

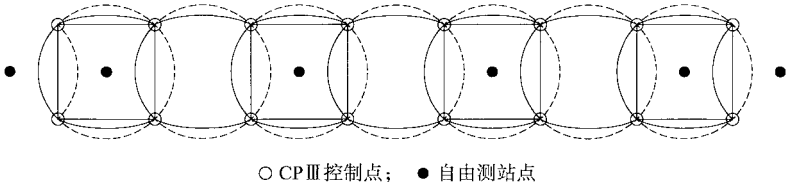


图 F.3.1 点对布设 CPⅢ控制网自由测站三角高程测量示意图

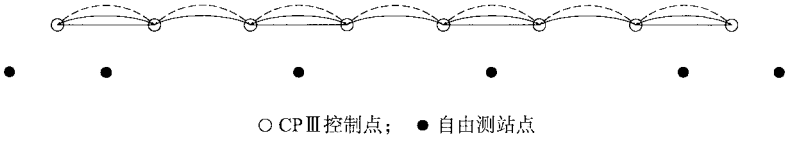


图 F.3.2 单点布设 CPⅢ控制网自由测站三角高程测量示意图

附录 I 隧道竖井联系三角形

I.0.1 隧道竖井联系测量采用悬吊钢丝联系三角形法时,联系三角形按图 I.0.1 布设。在井上测站点 A 测量钢丝 1、2 的距离 b 、 c 与夹角 f ,在井下测站点 C 测量钢丝 1'、2' 的距离 c' 、 b' 与夹角 f' ,并量取两钢丝间的距离 a 、 a' 。

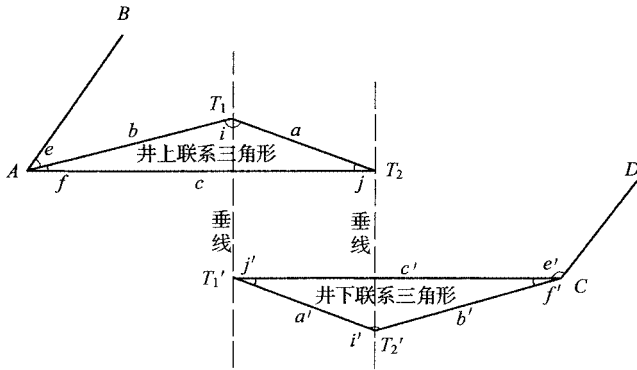


图 I.0.1 竖井联系三角形布设示意图

- a, a' —井上、井下两钢丝间的距离;
- b, b' —井上、井下测站点到较近钢丝的距离;
- c, c' —井上、井下测站点到较远钢丝的距离;
- f, f' —定向角,即井上、井下测站点到两钢丝方向的夹角。

本规范用词说明

执行本规范条文时,对于要求严格程度的用词说明如下,以便在执行中区别对待。

1. 表示很严格,非这样做不可的用词:
正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”。
2. 表示严格,在正常情况下均应这样做的用词:
正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”。
3. 表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的用词:
正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”。
4. 表示有选择,在一定条件下可以这样做的用词,采用“可”。

《铁路工程测量规范》

条文说明

本条文说明系对重点条文的编制依据、存在问题,以及在执行中应注意的事项等予以说明。为减少篇幅,只列条文号,未抄录原条文。

1.0.2 本规范适用于新建速度 200 km/h 及以下铁路工程测量。适用范围涵盖速度目标值 $V \leq 200$ km/h 的新建客货共线铁路、城际铁路、重载铁路,包括有砟轨道和无砟轨道铁路工程测量。

1.0.3 铁路工程测量平面坐标系说明

(1)2000 国家大地坐标系

2000 中国大地坐标系 (China Geodetic Coordinate System 2000, CGCS2000), 又称之为 2000 国家大地坐标系, 是中国新一代大地坐标系。建国以来, 中国于 20 世纪 50 年代和 80 年代分别建立了 1954 年北京坐标系和 1980 西安坐标系, 测制了各种比例尺地形图, 在国民经济、社会发展和科学研究中发挥了重要作用, 限于当时的技术条件, 中国大地坐标系基本上是依赖于传统技术手段实现的。1954 年北京坐标系采用的是克拉索夫斯基椭球体, 该椭球在计算和定位的过程中, 没有采用中国的数据, 该系统在中国范围内符合得不好, 不能满足高精度定位以及地球科学、空间科学和战略武器发展的需要。20 世纪 70 年代, 中国大地测量工作者经过二十多年的艰巨努力, 终于完成了全国一、二等天文大地网的布测。经过整体平差, 采用 1975 年 IUGG 第十六届大会推荐的参考椭球参数, 中国建立了 1980 西安坐标系, 1980 西安坐标系在中国经济建设、国防建设和科学研究中发挥了巨大作用。

随着社会的进步,国民经济建设、国防建设和社会发展、科学研究等对国家大地坐标系提出了新的要求,迫切需要采用原点位于地球质量中心的坐标系统(以下简称“地心坐标系”)作为国家大地坐标系。采用地心坐标系,有利于采用现代空间技术对坐标系进行维护和快速更新,测定高精度大地控制点三维坐标,并提高测图工作效率。

2008年3月,由国土资源部正式上报国务院《关于中国采用2000国家大地坐标系的请示》,并于2008年4月获得国务院批准:“自2008年7月1日起,中国将全面启用2000国家大地坐标系,2000国家大地坐标系与现行国家大地坐标系转换、衔接的过渡期为8年至10年。”为此,本规范要求“铁路工程测量平面坐标系应采用基于2000国家大地坐标系(CGCS2000)基准的工程独立坐标系”,以便于铁路工程独立坐标系与2000国家大地坐标系的相互转换。

2000国家大地坐标系是全球地心坐标系在我国的具体体现,其原点为包括海洋和大气的整个地球的质量中心。 Z 轴指向BIH1984.0定义的协议极地方向(BIH国际时间局), X 轴指向BIH1984.0定义的零子午面与协议赤道的交点, Y 轴按右手坐标系确定。2000国家大地坐标系采用的地球椭球参数如下:

长半轴 $a=6\ 378\ 137\ \text{m}$

扁率 $f=1/298.257\ 222\ 101$

地心引力常数 $GM=3.986\ 004\ 418\times 10^{14}\ \text{m}^3/\text{s}^2$

自转角速度 $\omega=7.292\ 115\times 10^{-5}\ \text{rad/s}$

(2)工程独立坐标系边长投影变形值不宜大于25 mm/km

国家标准的平面坐标系统均采用标准的 3° 带或 6° 带投影,由于基于2000国家大地坐标系 3° 带投影存在较大的边长投影变形,在投影带边缘的高斯投影变形值达到340 mm/km,在海拔2 000 m处高程的投影变形值达到312 mm/km。其边长投影变形值已远远超过铁路工程采用坐标法测量定位的精度要求。

采用坐标测量定位方法进行施工测量时,要求由坐标反算的

边长值与现场实测值尽量一致,因此本条规定采用工程独立坐标系,规定边长投影变形值不宜大于 25 mm/km,以满足勘测设计和施工测量的要求。这一要求也是我国各行业建立工程测量控制网所采用的基本原则。

关于投影长度的变形值不大于 25 mm/km 的坐标系统,可选择以下三种数学模型:

可以根据铁路工程通过地区的具体情况和要求,选择抵偿标系统、任意中央子午线标系统、任意中央子午线的任意较窄宽度带标系统。

在导线测量中,观测边长 D 归化至参考椭球体面上时,其长度将会缩短 ΔD 。设归化高程为 H ,地球平均曲率半径为 R ,其近似关系式为

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{H}{R} \quad (\text{说明 1.0.3—1})$$

即高程归化变形比 $\frac{\Delta D}{D}$ 与归化高程 H 成正比。下面列出 H 为 50 m~4 000 m 时变形比 $\frac{\Delta D}{D}$ 的数值,见说明表 1.0.3—1。

说明表 1.0.3—1 投影面高程变化引起的边长变形比

$H(\text{m})$	变形比 $\frac{\Delta D}{D}$
50	1/127 420
100	1/63 710
159.275	1/40 000
200	1/31 855
500	1/12 742
1 000	1/6 371
2 000	1/3 185
3 000	1/2 123
4 000	1/1 592

根据说明表 1.0.3—1, 当不考虑高斯正投影产生的变形(中央子午线附近 $y_m=0$)时, 要使长度变形小于 $1/40\ 000$, 则线路的高程至归化高程面的高差不宜大于 159 m (长度变形比为 $1/40\ 000$)。

归化到参考椭球体面上的边长 S , 再投影至高斯平面时, 其长度将会放长 ΔS 。设该边两端点的平均横坐标为 y_m , 则其近似关系式为

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{y_m^2}{2R^2} \quad (\text{说明 } 1.0.3-2)$$

即高斯正投影变形比与该边距中央子午线的平均距离的平方 y_m^2 成正比。下面列出纬度为 19° 、 36° 、 53° , 带宽为 0.8° 、 1.0° 、 1.2° 、 2.0° 、 3.0° , 带边至中央子午线距离为 y_m 时, 高斯正投影变形比 $\frac{\Delta S}{S}$ 的数值, 见说明表 1.0.3—2。

说明表 1.0.3—2 高斯正投影变形数值表

带宽	纬度 19°		纬度 36°		纬度 53°	
	y_m (m)	$\frac{\Delta S}{S}$	y_m (m)	$\frac{\Delta S}{S}$	y_m (m)	$\frac{\Delta S}{S}$
0.8°	42 117	1/45 762	36 066	1/62 408	26 855	1/112 560
1.0°	52 647	1/29 288	45 082	1/39 941	33 569	1/72 038
1.2°	63 177	1/20 338	54 099	1/27 737	40 282	1/50 027
2.0°	105 298	1/7 321	90 166	1/9 985	67 137	1/18 010
3.0°	157 954	1/3 253	135 252	1/4 437	100 704	1/8 004

根据高斯投影近似公式 $\frac{\Delta S}{S} = \frac{y_m^2}{2R^2}$, 当不考虑高程投影时, 若使高斯正投影变形值不大于 $1/40\ 000$, 应将投影带边缘至中央子午线的距离控制在 45 km 以内, 即投影带东西向的宽度不大于 90 km 。利用高程归化时导线边长缩短, 高斯正投影时导线边长伸长, 两者变形符号相反的特性, 就存在着一定的抵偿地带。若使高程归化变形比与高斯正投影变形比的差值不大于 $1/40\ 000$, 即

$$\frac{y_m^2}{2R^2} - \frac{H}{R} = \frac{1}{40\,000} \quad (\text{说明 } 1.0.3-3)$$

根据这一公式,可以计算出抵偿地带的高程 H 和相应的横坐标 y_m 之间的关系,见说明表 1.0.3—3。

说明表 1.0.3—3 抵偿高程与横坐标关系表

$H(\text{m})$	$\pm y_m(\text{km})$
0	0~45
50	0~52
100	0~57
150	0~63
500	66~92
1 000	104~122
2 000	153~166
3 000	190~201
4 000	221~230

从说明表 1.0.3—3 中不难看出,对于一定的高程只存在一定的抵偿地带,其东西宽度也随高程的增加而变得愈狭窄。

对于基本南北走向的铁路,其东西摆动在一定范围内,用人为的方法来改变归化高程面,使它与高斯正投影变形相抵偿,但并不改变国家统一的高斯正投影 3° 带的中央子午线,这种投影方法称为抵偿高程面的高斯正投影统一 3° 带平面直角坐标系,简称抵偿坐标系。

对于基本南北走向的铁路,其东西摆动在一定范围内,还可以人为改变中央子午线的位置,不改变归化高程面,使长度变形不大于 $1/40\,000$,这种方法称为任意中央子午线的高斯正投影平面直角坐标系,简称任意中央子午线坐标系。

如果基本南北走向的铁路,其东西摆动范围超过说明表 1.0.3—3 的数值,长度变形将会大于规定的 $1/40\,000$ 。特别对

于基本东西走向的铁路来讲,若采用国家统一的高斯正投影 3° 带平面直角坐标系或抵偿坐标系或任意中央子午线坐标系,影响更甚。这时,则可以采用任意中央子午线较窄宽度带的高斯正投影平面直角坐标系,并利用铁路通过地区的高程状况,选定合适的归化高程面,尽可能地减小长度变形,方便测量工作。

对于基本东西走向的铁路,它既经过坐标带的中央,又穿越坐标带的边缘。在坐标带的中央子午线上高斯正投影不产生变形,只有因高程归化产生的长度变形,而在坐标带的边缘则两种变形都存在,这就需要我们选择合适的归化高程面。根据说明表 1.0.3—1,要使中央子午线附近的长度变形小于 $1/40\ 000$,则线路的高程至归化高程面的距离不宜大于 159 m (长度变形比为 $1/40\ 069$),根据说明表 1.0.3—2(只取纬度为 19° ,其 y_m 最大),选择带宽为 0.8° ,其边缘高斯正投影变形比为 $1/20\ 338$,与高程归化变形(按 159 m)抵偿后的总变形比为 $1/41\ 301$;若选择带宽为 1.0° ,其边缘高斯正投影变形比为 $1/29\ 288$,只要选择高程归化距离为 59 m ,其高程归化变形比为 $1/107\ 983$,则抵偿后的坐标带边缘总变形比为 $1/40\ 188$ 。

因此,对于基本东西走向的长大铁路,可选择中央子午线为经度的整数度,带宽取 1.0° ,其高程投影面选在线路高程以下,中央子午线附近不低于 159 m ,边缘在 $59\text{ m}\sim 376\text{ m}$ 范围内,二者共有的范围为 $59\text{ m}\sim 159\text{ m}$ 。这样,不论在中央子午线附近,或者在中央子午线边缘,其长度的变形比都小于 $1/40\ 000$ 。

桥梁和隧道施工控制测量精度要求较高,可采用桥梁、工程隧道施工独立坐标系。但应确定其与线路工程独立坐标系的转换关系。

1.0.4 1985 国家高程基准是全国统一使用的国家高程基准。铁路工程线路长,与道路、管线、河流及市政设施交叉频繁,为了准确测量铁路工程与交叉物的高程关系,因此本条规定高程系统采用 1985 国家高程基准。

1.0.5 铁路工程测量的平面、高程控制网,按施测阶段、施测目的及功能不同可分为勘测控制网、施工控制网、运营维护控制网。这

就是铁路工程测量三个阶段的控制网,简称“三网”。

为保证控制网的测量成果质量满足勘测、施工、运营维护三个阶段测量的要求,适应铁路工程建设和运营管理的需要,三个阶段的平面、高程控制测量必须采用统一的基准,即勘测控制网、施工控制网、运营维护控制网均采用 CP I 为基础平面控制网,线路水准基点为基础高程控制网,简称为“三网合一”。

“三网合一”包括以下几个方面的内容:

(1)勘测控制网、施工控制网、运营维护控制网坐标高程系统的统一。在铁路工程的勘测设计、线下施工、轨道施工及运营维护的各阶段均采用坐标定位控制,因此必须保证三网的坐标高程系统的统一,铁路工程的勘测设计、线下施工、轨道施工及运营维护工作才能顺利进行。

(2)勘测控制网、施工控制网、运营维护控制网起算基准的统一。铁路工程勘测控制网、施工控制网、运营维护控制网平面测量以基础平面控制网 CP I 为平面控制基准,高程测量以线路水准基点为高程控制测量基准。

(3)线下工程施工控制网与轨道施工控制网、运营维护控制网的坐标高程系统和起算基准的统一。

(4)勘测控制网、施工控制网、运营维护控制网测量精度的协调统一。

1.0.6 铁路工程的线路平面、高程测量控制网,不仅要满足线下工程施工控制的需要,还要满足轨道铺设以及运营维护的要求。按照平面、高程控制网测量精度与轨道平顺度匹配的原则,各级平面、高程控制网的精度在满足线下工程施工的前提下,主要根据不同铁路类型、轨道结构和速度目标值的轨道静态铺设精度标准,确定轨道控制网(CPⅢ)测量精度技术标准,进而确定各级平面、高程测量控制网的精度指标。不同铁路类型、轨道结构和速度目标值的铁路有着不同的轨道静态铺设精度标准,因此其平面、高程控

制测量的精度也不相同。

本规范所指的铁路类型包括 200 km/h 及以下客货共线铁路、城际铁路和重载铁路等 3 种类型；轨道结构包括有砟轨道和无砟轨道 2 种；速度目标值分为 200 km/h、160 km/h、120 km/h 及以下 3 级。

1.0.7 根据偶然中误差出现的规律，以 2 倍中误差作为极限误差，其误差出现的或然率不大于 5%，这样的规定是合理的，也是我国测绘界普遍采用的指标。

1.0.8 在铁路工程测量中，对采用的测量成果进行检核是保证测量成果质量的关键。所以本规范规定：未经复核和检算的资料严禁使用。

1.0.10 测量仪器作为计量仪器，必须按照《中华人民共和国计量法》的要求，在法定的有效检定期内。测量仪器是铁路工程测量的主要工具，其良好的运行状态对测量作业至关重要。所以本规范要求对测量仪器和相关设备要加强维护保养，定期检校和检定。

1.0.11 为了鼓励在铁路工程测量中积极采用新技术、新材料、新设备、新工艺，促进铁路工程测量技术进步，本次修订不再要求采用新技术、新材料、新设备、新工艺须经铁道主管部门审定，只需测量成果精度不低于规范标准即可。

2.1.3~2.1.6 本规范引入框架平面控制网(CP0)、基础平面控制网(CP I)、线路平面控制网(CP II)、轨道控制网(CP III)概念，是为了便于阐述铁路工程线路平面控制测量按分级布网原则进行测量。

2.1.7 由于目前全站仪的广泛应用，单纯的三角网、三边网已很少应用，所以不再严格区分。本规范中将以往的三角网、三边网、三角形网综合为“三角形网”。

2.1.22 自由测站边角交会测量是一种先进、可靠的测量方法。

该方法是在任一点上架设全站仪,对布设在线路两侧的控制点进行距离、水平方向和竖直角度的观测,构成边角交会网形的测量方法,并与高等级控制点 CP I /CP II 联测,从而获取线路两侧的控制点坐标。该方法具有测站仪器无需对中、图形强度高、点位测量精度均匀等特点,特别适用于轨道控制网等带状平面控制网的测量。

2.1.23 全站仪自由设站测量是在任一点上架设全站仪,对线路两侧的已知控制点进行距离、水平方向和竖直角度的观测,根据后方交会测量和全站仪测距三角高程测量原理,测定设站点坐标、方位及高程的测量方法,是我国铁路工程施工测量中普遍采用的一种方法,通常用于轨道施工测量和轨道精调测量。

3.1.1 目前全球的卫星导航定位系统包括我国的北斗卫星导航系统[BeiDou(COMPASS) Navigation Satellite System]、美国的 GPS、俄罗斯的 GLONASS、欧洲的“伽利略”(GALILEO),因此本规范引入卫星定位测量概念,代替单一的 GPS 测量。

随着全站仪在铁路工程上的广泛应用,角度和距离测量已不再像以前那么困难,现在的外业观测不仅灵活且很方便。就布网而言,纯粹的三角网、三边网已极少应用。所以,本规范对以往的三角网、三边网、三角形网不再严加区别。

3.1.3 随着科学技术的发展,测量仪器和计算手段都得到了相应的提高。因此,加密控制网时不再强调逐级布网,重点考虑的是控制点的相对精度。只要满足铁路工程的精度要求,加密控制网可同精度内插。

3.1.4 分级布网体现了铁路控制测量从整体到局部的原则,其一使各级控制网具有可重复测量的条件,便于控制网复测及恢复;其二能分级消化系统误差,使系统误差不累积;其三便于分段施工测量。

3.1.5 CP0 一般 50 km 左右设一个点,是根据京沪、哈大和石武

等精测网的建网经验和 CP I 控制网每 50 km 左右联测一个高等级国家大地点而确定的。目前,国家三角点稀少且精度较低,虽然很多地方布设有 2000 国家大地坐标系 GNSS 控制点,但在西部山区,2000 国家大地坐标系 GNSS 控制点密度较低,部分 GNSS 控制点已不满足 GNSS 观测条件,因此本规范规定“当国家既有 GNSS 控制点的位置和精度不能满足 CP I 控制网约束条件时,应施测框架控制网(CP0)。”CP0 主要是为铁路工程提供统一坐标基准,代替国家高等级平面控制点。

在目前高等级国家大地点稀少的情况下,CP0 控制网宜与 IGS 参考站联测,以 IGS 参考站的 2000 国家大地坐标作为约束点,从而达到建立高精度坐标框架网的目的。

CP0 一般 50 km 左右设一个点,采用边联结构网时,基线长度要超过 100 km。对于 100 km 以上的长基线 GNSS 网测量,采用广播星历和厂家随机配置的商业软件已不能满足基线解算的要求,必须使用专门的精密星历数据处理软件进行解算。

3.1.6 同一铁路不同区段设计的速度目标值可能不同,而山区铁路一般是长大隧道采用无砟轨道结构,一般路基地段、桥梁和短隧道采用有砟轨道结构,因此会出现有砟轨道和无砟轨道相互搭接的情况。不同速度目标值的轨道平顺度要求不同,对平面控制网测量精度要求不同,而且同一速度目标值铁路有砟轨道和无砟轨道平面控制网测量精度要求不同,因此存在不同精度平面控制网的搭接问题。为了解决不同精度平面控制网的搭接问题,本条文规定了采用上一级控制点为搭接分界点的搭接原则。

为了使不同精度平面控制网的搭接更为平顺,因此要求分界处的高等级平面控制点应作为约束点参与低等级平面控制网平差。

本条第 3 款“不同等级 CP III 控制网的搭接平差时,低等级的 CP III 控制网应以搭接处的高等级 CP III 作为约束点参与平差”是为了使不同精度段的铺设搭接更为顺畅。

3.2.1 卫星定位测量网的精度分级是在充分考虑卫星测量精度高,布网灵活性强,相邻等级网的布网方法、测量方法和观测时间没有太大差异的前提下,根据铁路工程对测量精度的需要和铁路卫星测量网带状布设,长、短边边长悬殊大等特点划分的。

(1)控制网的精度指标

控制网的精度指标是根据铁路工程对测量精度的要求确定的。

特等网主要用于框架控制网(CP0)测量。最弱边相对中误差 $1/2\ 000\ 000$ 是根据多年来 CP0 测量的实践总结得出的。

一等网主要用于铁路工程线路特大型桥梁和隧道的施工控制网测量;按照目前桥梁、隧道施工控制测量的要求,GNSS 网最弱边相对中误差 $\leq 1/250\ 000$ 能满足桥梁、隧道独立控制网的精度。

二等网主要用于速度 120 km/h 以上客货共线及重载无砟轨道铁路、速度 160 km/h 及速度 200 km/h 城际无砟轨道铁路基础平面控制网(CP I)测量,复杂特大桥施工控制网测量和长度 4 km 以上隧道的施工控制网测量;经过实践证明,二等控制网最弱边相对中误差 $\leq 1/180\ 000$ 是合适的。

三等网主要用于速度 120 km/h 及以下客货共线及重载无砟轨道铁路、速度 120 km/h 以上客货共线及重载有砟轨道铁路、速度 120 km/h 城际无砟轨道铁路、速度 160 km/h 及速度 200 km/h 城际有砟轨道铁路基础平面控制网(CP I)测量,速度 120 km/h 以上客货共线及重载无砟轨道铁路、速度 160 km/h 及速度 200 km/h 城际无砟轨道铁路线路控制网(CP II)测量,复杂特大桥施工控制网测量和长度 4 km 以下隧道施工控制网测量;从目前 CP I、CP II 测量实践来看,最弱边相对中误差 $\leq 1/100\ 000$ 是合适的。

四等网主要用于速度 120 km/h 及以下客货共线及重载有砟轨道铁路、速度 120 km/h 城际有砟轨道铁路基础平面控制网(CP I)测量,速度 120 km/h 及以下客货共线及重载无砟轨道铁路、速度 120 km/h 以上客货共线及重载有砟轨道铁路、速度 120 km/h 城

际无砟轨道铁路、速度 160 km/h 及速度 200 km/h 城际有砟轨道铁路线路控制网(CP II)测量,大桥施工控制网测量。

五等网主要用于速度 120 km/h 及以下客货共线及重载有砟轨道铁路、速度 120 km/h 城际有砟轨道铁路线路控制网(CP II)测量,以及线路中线、地形、施工测量时的控制点加密。

(2)关于固定误差 a 与比例误差系数 b

综合《工程测量规范》GB 50026—2007 及铁路卫星定位测量实践经验,固定误差 a 与比例误差系数 b 应随等级变化而制定,而不应只考虑仪器的标称精度,因此对固定误差 a 与比例误差系数 b 进行了修订。

(3)关于约束平差后基线边方位角中误差和最弱边边长中误差的确定

GNSS 的测量原理与常规的导线、三角形网不同。GNSS 测量的一个特点是边长测量精度很高,但在边长较短时,由于受固定误差的影响,其方位角精度就不如边长测量精度高。基线边长与角度之间的匹配关系也不像导线、三角形网测量的边角关系。根据我们对一些铁路 CP I、CP II GNSS 测量的基线方位角和边长精度的关系统计得出:当基线方位角中误差 $\leq 1.0''$ 时,一般对应的基线相对中误差 $\leq 1/250\ 000$;当基线方位角中误差 $\leq 1.3''$ 时,一般对应的基线相对中误差 $\leq 1/180\ 000$;当基线方位角中误差 $\leq 1.7''$ 时,一般对应的基线相对中误差 $\leq 1/100\ 000$ 。

由于上述原因,本规范的 GNSS 测量等级划分与导线、三角形网测量等级划分没有严格意义上的对应关系。

(4)关于约束点精度的规定

此规定主要用于首级控制网的约束点稳定性和兼容性检验,当采用最少约束条件(当约束点为 CGCS2000 大地坐标系或 ITRF 坐标框架或 WGS-84 坐标系时固定一个点,其他坐标系时可固定一个点和一个已知方向)进行首级控制网平差后,应通过检查方位角精度(约束点间计算方位角与已知方位角较差)和边长相对精度

(约束点间计算边长与已知边长之差的相对精度)来综合判断。方位角精度和边长相对精度基本取上一等级的基线边方位角中误差和最弱边边长相对中误差,并经多条铁路的实践数据统计确定。

(5)关于基线长度短于 500 m 时边长中误差的规定

由于 GNSS 测量存在固定误差,对于短基线很难满足表 3.2.1 中的基线边方位角中误差及约束平差后最弱边边长相对中误差要求。因此对于短于 500 m 的基线,按“一等、二等、三等边长中误差应小于 5 mm,四等边长中误差应小于 7.5 mm,五等边长中误差应小于 10 mm”要求执行,不需再满足表 3.2.1 中基线边方位角中误差及约束平差后最弱边边长相对中误差要求。

3.2.2 基线长精度公式中固定误差 a 和比例误差系数 b 的含义分别与仪器生产厂家给出的精度公式中的 a 、 b 的含义基本相同,其区别在于厂家给出的是某一标准条件下的精度,本规范的式(3.2.2)是考虑了外界因素影响的精度。

3.2.3 卫星定位测量控制网的设计是一个综合设计的过程,首先要明确铁路工程项目对控制网的基本精度要求,然后才能确定控制网的基本精度等级。最终精度等级的确定还需考虑测区现有测绘资料的精度情况、计划投入的接收机的类型、标称精度和数量、定位卫星的健康状况和所能接收的卫星数量,同时还需兼顾测区的道路交通状况和避开强烈的卫星信号干扰源等。控制网与高等级的国家控制点联测的目的是引入国家坐标系统,以便进行审查时将铁路工程独立坐标转换为国家坐标。

3.2.5 理论上讲,同步环闭合差应该为零,因为目前商业软件基本上采用单基线解,每条基线解算的数学模型可能不同,再加上观测和数据处理没有严格时间同步,所以并不是严格意义上的同步环,经铁路卫星测量多年的实践经验,同步环闭合差很难满足要求,但并不影响测量精度。鉴于此,本次规范修订不再保留同步环闭合差要求,均统一按独立环闭合差要求。按总则 1.0.7 条“极限误差(简称限差)规定为中误差的 2 倍”,因此对环闭合差限差进行

了调整。

3.2.6 关于无约束平差的说明:

(1)无约束平差的目的,是为了提供 GNSS 网平差后的三维坐标,同时也是为了检验 GNSS 网本身的精度及基线向量之间有无明显的系统误差和粗差。

(2)无约束平差在 CGCS2000 大地坐标系或 ITRF 坐标框架或 WGS-84 坐标系中进行。通常以一个控制点的三维坐标作为起算数据进行平差计算,实为单点位置约束平差或最少条件约束平差,它与完全无约束的秩亏自由网平差是等价的,因此称之为无约束平差。

(3)基线向量改正数的绝对值限差的提出,是为了对基线观测量进行粗差检验。无约束平差基线向量各分量改正数限差参照《全球定位系统(GPS)测量规范》GB/T 18314—2009 和《工程测量规范》GB 50026—2007 的规定制定。

3.2.7 通过 GNSS 基线网三维无约束平差后,检查控制网 GNSS 测量的内符合精度、环闭合差是否满足要求。各项指标合格后,才能进行约束平差。为了保证控制网约束平差的精度,约束点间的兼容性检查是必须的。

约束平差有两种方法。第一种方法是利用约束点的平面坐标对控制网进行二维约束平差。由于约束点间平面坐标反算的边长存在投影差(高程改化和高斯投影),且高斯投影差在控制网的各条边中是一个非线性的变量。如果直接进行二维约束平差计算,控制网的平面坐标就会以约束点间的边长平均投影系数对控制网的各条边进行线性约束,这是一种不严密的转换方法,不适用于较大的控制网。第二种方法是利用约束点的三维坐标对控制网进行三维约束平差,然后通过高斯投影变换将 GNSS 三维空间坐标转换为二维平面坐标,这是一种严密的转换方法,可以克服利用约束点的平面坐标作为固定点进行控制网的二维约束平差带来的边长变形。在可能的条件下,应优先选择三维约束平差。

3.3.2 其他工程测量规范中,导线等级最高为三等,鉴于铁路工程的特殊性,为保证长大隧道的贯通精度,长大隧道洞内控制导线最高要求达到二等导线和隧道二等精度。

根据铁路工程的特点,导线边长既要考虑满足测量精度的要求,同时也要考虑测量的可操作性和使用的方便。在其他工程测量规范中,四等以上的导线边长均超过 1 km,而在铁路工程中,多数情况下导线边长无法达到如此距离,因此各等级导线边长是按铁路工程的实际情况制定的。

导线精度及附(闭)合长度:若以 2 倍中误差为极限误差,导线经水平角平差后,全长相对闭合差限差的计算公式为

$$\frac{f}{D} = 2\sqrt{\frac{m_b^2}{n \cdot d^2} + \frac{m_a^2}{\rho^2} \times \frac{(n+1)(n+2)}{12 \cdot n}}$$

(说明 3.3.2—1)

二、三、四等及一、二级导线的测角中误差分别取 1"、1.8"、2.5"、4"、7.5";二、三、四等及一级导线的测距精度取为 2 mm + 2 ppm,二级导线的测距精度取为 5 mm + 2 ppm;二、三、四等导线平均边长分别取 1 000 m、800 m、600 m,一、二级导线平均边长均取 400 m,按式(说明 3.3.2—1)可得导线精度,见说明表 3.3.2—1。

说明表 3.3.2—1 按 2 倍中误差为极限误差估算导线全长相对闭合差限差

导线长(km) 等级	20	18	14	12	10	5
二等	1/73 684	1/76 933	1/84 855	1/89 744	1/95 425	1/112 786
三等	1/37 371	1/38 757	1/43 017	1/46 338	1/49 012	1/60 559
四等	1/23 453	1/24 822	1/27 411	1/29 659	1/31 753	1/40 451
一级	1/12 260	1/12 881	1/14 469	1/15 520	1/16 836	1/22 140
二级	1/6 538	1/6 869	1/7 716	1/8 276	1/8 977	1/11 798

若以 1.5 倍中误差为极限误差,导线经水平角平差后,全长相对闭合差限差的计算公式为

$$\frac{f}{D} = 1.5 \sqrt{\frac{m_D^2}{n \cdot d^2} + \frac{m_B^2}{\rho^2} \times \frac{(n+1)(n+2)}{12 \cdot n}}$$

(说明 3.3.2—2)

则得导线精度见说明表 3.3.2—2。

说明表 3.3.2—2 按 1.5 倍中误差为极限误差估算导线全长相对闭合差限差

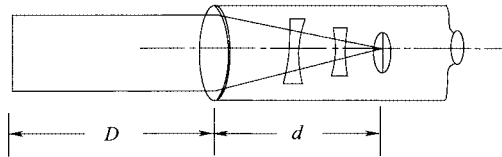
导线长(km) 等级	20	18	14	12	10	5
二等	1/98 245	1/102 577	1/113 140	1/119 659	1/127 233	1/150 381
三等	1/49 827	1/51 676	1/57 356	1/61 785	1/65 349	1/80 746
四等	1/31 271	1/33 096	1/36 548	1/39 544	1/42 338	1/53 935
一级	1/16 347	1/17 175	1/19 293	1/20 693	1/22 448	1/29 520
二级	1/8 718	1/9 159	1/10 288	1/11 034	1/11 969	1/15 731

综合以上分析,并结合铁路工程实际选定了导线技术要求。在特殊条件下,为提高导线精度,可采取导线网、三角形网等加强措施,提高多余观测量。

3.3.3 导线相邻边长之比不小于 1 : 3。

望远镜的物镜成像示意如说明图 3.3.3 所示,其成像定理为

$$\frac{1}{D} + \frac{1}{d} = \frac{1}{f} \quad (\text{说明 3.3.3—1})$$



说明图 3.3.3 物镜成像示意图

当物距 D 改变 ΔD 时,如果不调焦,则像距 d 也相应改变 Δd 。

即

$$\frac{1}{D \pm \Delta D} + \frac{1}{d \pm \Delta d} = \frac{1}{f} \quad (\text{说明 } 3.3.3-2)$$

在导线水平角观测时,设相邻导线边的长度相差 ΔD ,如果瞄准后视后,不调焦再瞄准前视,则前视的目标影像将不落在十字丝平面上,这时将产生视差,如果视差太大将影响瞄准精度。 ΔD 按下式计算:

$$\Delta D = \pm \frac{D^2 \Delta d}{(D+d)\Delta d \mp d^2} \quad (\text{说明 } 3.3.3-3)$$

仪器设计安装规定 $|\Delta d| \leq 0.2 \text{ mm}$,视差的影响可以忽略不计。

以 $d=0.3 \text{ m}$ 、 $|\Delta d|=0.2 \text{ mm}$ 计算出前后视不调焦的边长,见说明表 3.3.3。

说明表 3.3.3 不调焦的前后视边长值

$D(\text{m})$	$\Delta D_1(\text{m})$	$D_1(\text{m})$	$\Delta D_2(\text{m})$	$D_2(\text{m})$	D_1/D_2
100	29	129	18	82	1.6
200	160	360	62	138	2.6
225	225	450	75	150	3.0
300	601	901	120	180	5.0
400	3 219	3 619	188	212	17.0

从说明表 3.3.3 中可以看出,对于导线的短边,相邻边长之差不宜过大,对于较长的导线边,允许长度差别就大得多。为了减少铁路导线布设时,相邻边长相差悬殊必须调焦而引起的角度测量误差,规定相邻边长 D_1 和 D_2 之比不宜大于 3。如布设短边时要注意相邻边长比,而对于较长的边长则不受此规定的限制。

当导线平均边长较短时,需控制导线边数。主要是因为目前测距的精度明显高于测角精度,在相同导线长度的条件下,边长越短,边数越多,则测量的角度也越多,导线的精度也随之降低。

3.3.4 水平角观测所用的仪器是以 0.5''级、1''级、2''级和 6''级仪

器为基础,根据实际的检查需要和相关仪器的精度,分别规定出不同的指标。

3.3.5 方向观测法的技术要求引自《工程测量规范》GB 50026—2007,并根据经验增加了 0.5″级仪器的技术要求。

3.3.6 本条规定引自《工程测量规范》GB 50026—2007。

3.3.8 本条规定的距离测量精度等级的技术要求引自《中、短程光电测距规范》GB/T 16818—2008。

3.3.9 本条规定的距离测量的技术要求引自《中、短程光电测距规范》GB/T 16818—2008 及《工程测量规范》GB 50026—2007。

3.3.10 本条规定给出的水平距离计算公式(3.3.10)计算的测距边的水平距离是测距边两端平均高程面上的平距,应用该公式计算的往、返测的平距可以直接比较,往、返测平距较差小于限差要求时,取其平均值,再按要求归化到参考椭球面上。而《中、短程光电测距规范》GB/T 16818—2008 中给出的水平距离计算公式(21)是测距边的测站端高程面上的距离,因此采用该公式计算分别的测距边的往、返测平距是不能直接比较的。

3.3.11 本条列出了一些必要的精度评定项目,需要时,作业者还可以增加更细致的精度评定项目。

3.3.12 本条给出了测距长度归化到不同投影面的计算公式。在作业时,根据平面控制网的坐标系统选择的不同而取用不同的公式。

3.3.13 本规范中导线平差计算都规定采用严密平差,主要是考虑到目前导线网计算一般都用相关测量平差软件计算,这些软件的平差都是严密平差。

本条列出了一些必要的精度信息,需要时,作业者还可以根据实际情况增加更细致的精度信息。

3.4.1 本条规定参照《工程测量规范》GB 50026—2007 而制定,对以往的三角网、三边网、边角网等不再严格区分,将所有的角度、边长、方向观测值均作为观测量看待。三角形网测量的精度指标,

是基于三角网和三边网的相关指标制定的。本条没有对边长作出规定,是因为铁路工程的特殊性,不同条件下边长差异较大。如桥梁施工控制网边长可以布置的较长,而隧道洞内控制网,为了提高精度可选择三角形网,但边长不容易布置的很长。

表 3.4.1 中二等三角形网最弱边边长相对中误差取 $1/120\ 000$,是与《工程测量规范》GB 50026—2007 二等三角形网最弱边边长中误差要求一致。

3.4.2 三角形网是导线网、三角网和三边网的综合,目的是增加多余观测量。三角形网不要求测量所有的角度和边长,根据具体情况可选择观测部分方向或角度或边长。如此,便于在布设桥梁控制网和隧道洞内控制网时灵活考虑网形。三角形网测量概念的提出,就是将所有的方向或角度、边长观测值均作为观测量看待,均需参加平差计算。

3.4.5 本条规定引自《工程测量规范》GB 50026—2007。三角形网的各种几何条件检查内容本条没有详细列出,因为三角形网的各种几何条件显得较复杂,这里不作为强制要求,仅规定三角形网闭合差应满足限差要求。在查找三角形网出现的问题时,可参考《工程测量规范》GB 50026—2007 所列出的三角形网的各项条件闭合差检验内容。

3.4.7 关于先验权计算。控制网平差时,需要估算角度或方向及边长先验中误差的值,并用于计算其先验权的值。根据实际经验,采用经典的计算公式或数理统计的经验公式估算先验中误差,用于平差迭代计算,其最终平差结果是一样的,二者都是可行的办法。

3.5.1 为了保持铁路框架控制网的系统性和完整性,保证坐标基准的唯一性,对一条铁路的 CP0 应进行整网平差数据处理,不应分段进行。

3.5.2 对多条互通的铁路线路,需在线路互通连接处设立控制点。如原已建有 CP0 控制点,该点在确认为稳定的前提下宜作为

已知点对新建 CP0 进行约束,使之形成一个统一的框架控制网,使两条铁路能够平顺衔接。当附近有 2000 国家大地坐标系控制点时,经检验满足精度要求的前提下,应将 2000 国家大地控制点作为已知点,以利于与其他工程的对接。

3.5.4

1 CP0 控制网与 IGS 参考站或国家 A、B 级 GNSS 点联测的目的是将 CP0 控制网坐标基准归化到 WGS-84 坐标系或 2000 国家大地坐标系中。

2 “每个 CP0 控制点与相邻点连接数不得小于 3;IGS 参考站或国家 A、B 级 GNSS 点与其相邻的 CP0 连接数不得小于 2”,其目的是保证实现 CP0 控制网的边连接,使每个点都有闭合环检核条件。相邻点包括 CP0 控制点及联测的 IGS 参考站,国家连续运行参考站,国家 A、B 级 GNSS 点。

3.5.5 CP0 观测的技术要求是在参考《全球定位系统(GPS)测量规范》GB/T 18314—2009 B 级 GPS 网的规定基础上,根据 CP0 测量精度的要求和总结近年来多条铁路 CP0 测量的作业实践制定的。

夜间观测是指在日落后 1 小时到日出前的期间进行观测。在我国南部低纬度地区进行 CP0 测量时,夜间时段的观测适宜在午夜到日出期间进行。上述时刻均以同步观测网点中最西部站点的时刻为准。

3.5.6 CP0 基线解算推荐使用 Gamit 或 Bernese GPS 基线解算软件,或使用经相关部门鉴定为合格的长基线解算软件。

3.5.7

1 精密星历指 IGS 公布的最终精密星历(Final Orbit)。

3 传统单基线解是一种不精密的解算方法,其忽略了不同基线之间的相关性,在基线解算的平差模型中采用了近似的随机模型。多基线解采用的是严密平差模型,因而不会产生同步环坐标闭合差问题,其结果更为准确和可靠。基线结果必须和方差-协方

差阵一并输出,既方便后续的基线向量网平差,也是基线重复性较差检验和独立环坐标闭合差检验所必须的。

4 起算点坐标成果和采用的精密星历的坐标成果应在同一坐标框架中进行。起算点的绝对坐标精度对基线的解算精度有影响,不能直接使用接收机单点定位的坐标成果作为 CP0 的起算坐标。

3.5.8 CP0 控制网基线处理结果质量检核要求参照《全球定位系统(GPS)测量规范》GB/T 18314—2009 B 级 GPS 网的规定制定,并按总则第 1.0.7 条“极限误差(简称限差)规定为中误差的 2 倍”,对同一基线不同时段的基线向量各分量及边长较差限差进行了调整。

3.5.9 约束平差前进行外部数据处理质量检查,其一检查约束点的兼容性,其二通过外部高精度已知点的相对关系来对 CP0 的绝对点位精度进行检核,有利于不同线路 CP0 控制点成果的通用与共享。

3.5.10 CP0 复测与原测平面坐标较差限差主要依据已完成的京沪、贵广、石武 CP0 复测点位坐标较差统计情况(说明表 3.5.10)得出。

说明表 3.5.10 京沪、贵广、石武 CP0 复测坐标较差统计

点位中误差	≤1 cm	1 cm~1.5 cm	1.5 cm~2 cm	2.5 cm~3 cm	≥3 cm
点数	13	17	11	3	0

CP0 控制网作为全线(段)的坐标起算基准,主要用于平面控制网建立。由于 CP0 点间距较大,施测及数据处理要求较高,一般情况下不要求对 CP0 点进行复测,但特殊情况下,如发生地震等自然灾害时,需按本条要求进行 CP0 复测。

3.6.1 CP I 控制网一般在初测阶段施测,当初测阶段比较方案多、线路方案还不稳定时,可先按初测精度要求建立初测平面控制网。方案稳定后,在定测前需完成 CP I 控制网测量。CP I 控制网作为基础平面控制网,主要为线路控制网 CP II 提供起算基准,

线下工程施工主要利用线路控制网 CP II 进行施工控制测量。

轨道平顺度指标以现行《铁路轨道设计规范》TB 10082 为依据。由于不同铁路类型、不同轨道结构和不同速度目标值的轨道平顺度标准不同,因此表 3.6.1 按照铁路类型、轨道结构和线路设计速度目标值的不同,而采用不同的测量等级标准。表中的测量等级标准是根据不同铁路类型、不同轨道结构和不同速度目标值的轨道平顺度标准对 CP III 测量精度的要求,反演推算各级平面控制网的精度等级,并结合近年来的铁路建设经验而制定的。

3.6.2 CP I 布设为 2 km 一个点或 4 km 一对点,主要考虑满足控制网复测维护以及与线路水准基点共桩的需要。当 CP I 布设为 4 km 一个点时,如果出现连续 CP I 控制点被破坏,受测量误差的影响,控制网很难恢复。在厦深铁路、海南西环铁路控制网复测中,由于出现连续 CP I 控制点被破坏,采用恢复后的 CP I 控制点约束 CP II,进而约束 CP III 控制网,常常出现 CP III 控制点成果与原成果坐标差值超过 2 cm,给轨道精调工作带来困难。而 CP I 布设为 2 km 一个点或 4 km 一对点,将大大减小控制点破坏留下的空白地段,对控制网复测维护是有利的。同时,线路水准基点为 2 km 一个点,CP I 控制点与之共桩的可能性增大,减小了埋桩工作量。

3.6.3 CP I 控制网作为基础平面控制网,主要为线路控制网 CP II 提供起算基准,线下工程施工主要利用线路控制网 CP II 进行施工控制测量。为了便于勘测阶段 CP I 控制点的选点布网,如果要求在较小范围内布设,将会给 CP I 控制网布设增添难度。因此,把 CP I 控制点的布设范围定为距线路中心 50 m~1 000 m 范围内。

附录 B 所规定的各级平面、水准点标石的埋设规格均为一般地区普通标石的埋设,对于特殊地区的标石埋设,根据线路所在地区的土质、地质构造及区域沉降等因素,进行特殊地区的控制点埋设。附录 B 要求的埋石标准是按控制点的等级而制定的,具体

CP I 的埋设标准根据表 3.6.1 规定的等级选择相应的埋石尺寸。

3.6.4 CP I 控制网采用闭合网图形,通过环闭合差的检查,确保基线边的质量。为了保证 CP I 控制网的完整性,避免分段平差连接处出现坐标连接差,因此要求 CP I 控制网一次布网,整体平差。

3.6.5 在与其他铁路平面控制网衔接地段,通过将相邻铁路 2 个以上的平面控制点纳入到 CP I 控制网中测量,以便确定它们之间的相互关系,保证铁路工程与相邻铁路的平顺衔接。CP I 控制网宜与附近的已知水准点联测是为了求得 CP I 控制网的正常高。

3.6.7

1、2 利用已知点的三维坐标对 GNSS 进行三维约束平差,然后通过投影变换将 GNSS 三维空间坐标转换为二维平面坐标,这是一种严密的转换方法。首先利用国家高等级平面控制点或 CP0 控制点作为固定点进行 CP I 控制网的三维约束平差,计算 CP I 控制点的空间直角坐标,再通过分带投影的方法计算 CP I 控制点的平面直角坐标。这样可以克服利用已知点的平面坐标作为固定点进行 CP I 控制网的二维约束平差带来的边长变形。

3 CP I 控制网与沿线的国家或城市平面控制点联测的目的是:(1)将铁路工程独立坐标系统引入国家坐标系统或城市平面坐标系统;(2)当需要提供国家坐标系统或城市平面坐标系统坐标时,通过联测的国家三角点或城市平面控制点,对 CP I 控制网进行约束平差,将铁路工程独立坐标转换为国家或城市独立坐标。因收集的国家三角点或城市平面控制点一般只有平面坐标,因此以联测的国家三角点或城市平面控制点作为固定点进行 CP I 控制网的二维约束平差。

3.7.1 线路控制网 CP II 是线路定测放线和线下工程施工测量的基础,一般在线路方案稳定后的定测阶段施测,并利用其进行定测放线,使定测放线和线下工程施工测量都能以 CP II 控制网作为基准,因此要求 CP II 控制网宜在定测阶段完成。

由于不同铁路类型、不同轨道结构和不同速度目标值的轨道平顺度标准不同,因此表 3.7.1 按照铁路类型、轨道结构和线路设

计速度目标值的不同,而采用不同的测量等级标准。表中的测量等级标准是根据不同铁路类型、不同轨道结构和不同速度目标值的轨道平顺度标准对 CPⅢ测量精度的要求,反演推算各级平面控制网的精度等级,并结合近年来的铁路建设经验而制定的。

3.7.3 为了确定与其他铁路平面控制网的衔接关系,本条规定在与其他铁路交叉或连接处,联测 2 个以上平面控制点。通过 CPⅠ测量时联测的 2 个以上点和 CPⅡ测量时联测的 2 个以上平面控制点求出两套坐标系统的转换参数,便于接头处的坐标转换。

3.7.4 采用 GNSS 测量 CPⅡ时,要求点位之间相互通视,是为了便于勘测施工时采用常规测量方法进行勘测和施工放线。为了保证平面测量基准的统一,实现“三网合一”,CPⅡ控制网必须附合到 CPⅠ控制网中,平差计算时以所有的 CPⅠ作为已知点进行约束平差。

3.8.1 考虑到 CPⅢ自由测站平面测量和 CPⅢ导线测量时,应每隔 600 m 左右与 CPⅡ控制点联测,因此长度大于 800 m 的隧道贯通后应在隧道内测设 CPⅡ控制网。

3.8.2 隧道洞内 CPⅡ的作用是为洞内 CPⅢ测量提供平面控制基准,无论从理论上讲还是从实践经验来说,速度 120 km/h 以上无砟铁路隧道洞内 CPⅡ只需达到平面三等导线精度;速度 120 km/h 及以下无砟铁路和速度 120 km/h 以上有砟铁路隧道洞内 CPⅡ只需达到平面四等导线精度即可满足洞内 CPⅢ测量的起闭要求;速度 120 km/h 及以下有砟铁路隧道洞内 CPⅡ只需达到平面一级导线精度即可满足洞内 CPⅢ测量的起闭要求。但是对于长隧道,由于直伸导线存在较大的横向摆动,如果洞内 CPⅡ导线低于洞内施工导线精度,会由于精度不匹配而使得洞内 CPⅡ导线所测量的线路中线与洞内施工导线控制的线路中线产生偏差,从而导致隧道限界不足。因此,表 3.8.2—1 中根据不同列车设计速度、轨道结构和隧道长度给出了不同隧道洞内 CPⅡ导线的测量等级和测量形式。

另外,相对于常规导线测量,洞内 CPⅡ导线测量由于受隧道洞

内观测条件的限制,其洞内 CP II 导线边长较短。因此,洞内 CP II 导线测量,其测距精度采用测距中误差来评定,而不像常规导线测量,其测距精度采用测距相对中误差来评定。

3.8.3 为了使洞内 CP II 所控制的线路中线与隧道施工洞内导线控制的线路中线保持一致,当隧道洞内施工导线控制点保存完好时,洞内 CP II 导线应与隧道洞内施工控制导线点联测或共桩,并将满足 CP II 控制精度的洞内施工导线控制点作为约束点参与洞内 CP II 导线约束平差。

(1)速度 120 km/h 以上的无砟铁路:当隧道洞内施工导线控制点约束 CP II 控制网能达到三等导线精度时,应采用洞内施工平面控制点对 CP II 控制网进行约束。

(2)速度 120 km/h 及以下无砟铁路和速度 120 km/h 以上有砟铁路:当隧道洞内施工导线控制点约束 CP II 控制网能达到四等导线精度时,应采用洞内施工平面控制点对 CP II 控制网进行约束。

(3)速度 120 km/h 及以下有砟铁路:当隧道洞内施工导线控制点约束 CP II 控制网能达到一级导线精度时,应采用洞内施工平面控制点对 CP II 控制网进行约束。

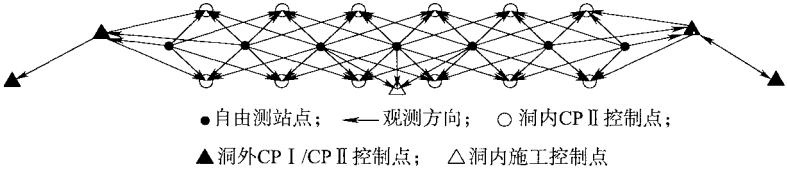
这样,在洞内 CP II 精度满足 CP III 测量起闭的条件下,最大限度地保持了洞内 CP II 与隧道施工导线的一致性。

3.8.5 随着铁路工程测量技术的不断发展,自由测站边角交会法测量技术已广泛应用于铁路 CP III 测量。由于自由测站边角交会法测量具有点位稳定性好、网形强度高、测站设置灵活方便等特点,中铁二院与西南交大合作对隧道洞内 CP II 自由测站边角交会网进行了研究。隧道洞内 CP II 自由测站边角交会网,与导线环网相比,具有以下优势:

(1)自由测站边角交会网采用自由测站观测,CP II 网点布设在二衬后的双侧壁上,点位稳定且可与 CP III 共桩;没有全站仪的
对中误差;由于控制点采用特制强制对中标志,所以也没有目标的
对中误差,亦即实现测站点和目标点均为强制对中。而导线环网

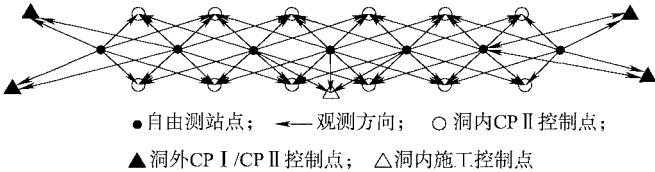
测量时测站和目标均为脚架对中,对中误差具有累积的性质且对洞内控制网横向精度影响显著。

(2)洞内 CP II 自由测站边角交会网宜按说明图 3.8.5—1 所示网形布设。



说明图 3.8.5—1 在洞外平面控制点置镜观测洞内 CP II 控制点的观测网图

当隧道进、出口处 CP I /CP II 控制点不能与洞内 CP II 控制点通视时,洞内 CP II 自由测站边角交会测量可采用说明图 3.8.5—2 所示图形与洞外已知点联测。



说明图 3.8.5—2 在自由测站置镜观测洞外平面控制点的观测网图

从说明图 3.8.5—1 和说明图 3.8.5—2 可以看出,自由测站边角交会网网形规则对称,图形强度高。

从说明图 3.8.5—1 和说明图 3.8.5—2 还可以看出,除说明图 3.8.5—2 中首尾两对洞内 CP II 控制点有 3 个测站的方向和距离观测值,其余每个洞内 CP II 控制点有 4 个测站的方向和距离观测值,每一测站观测 8 个控制点,多余观测数多,可靠性强;而导线网的多余观测数和可靠性,均无法与自由测站边角交会网相比。

(3)自由测站边角交会网采用自由测站方式自动观测,测站位置的选择灵活多变、自动观测的精度和效率高;而导线环网只能在

控制点上观测,视线靠近隧道的双侧壁不但易被遮挡,而且受旁折光影响显著。

相对于传统的洞内控制测量方式,隧道洞内 CP II 自由测站边角交会网可提高洞内的横向贯通精度,精度增益在 20% 以上,综合比较是目前长大隧道洞内控制测量的最优方法。

根据上述研究结论,本规范将隧道洞内 CP II 自由测站边角交会网测量纳入条文中。

3.8.7~3.8.11 本规范中隧道洞内 CP II 自由测站边角交会网测量的各项观测精度指标是根据中铁二院科研项目“高速铁路长大隧道控制测量综合技术研究”成果,并在贵广铁路、兰渝铁路、渝利线及长昆线进行试验的基础上制定的。隧道洞内 CP II 自由测站边角交会控制网应采用全站仪按全圆方向观测法自动观测,其观测值包括自由测站到各控制点的水平方向值和水平距离。

贵广铁路、兰渝铁路、渝利线、长昆线隧道洞内 CP II 自由测站边角交会试验数据统计如下:

(1)隧道洞内 CP II 自由测站边角交会网方向观测时,半测回归零差、不同方向同一测回 2C 互差以及测回间同一方向归零后方向值较差的统计见说明表 3.8.7—1。

说明表 3.8.7—1 隧道洞内 CP II 自由测站边角交会网方向观测精度指标统计

半测回归零差		不同方向同一测回 2C 互差		测回间同一方向归零后 方向值较差	
区间(")	比例	区间(")	比例	区间(")	比例
0~3	95.1%	0~6	98.7%	0~3	94.9%
3~4	4.0%	6~7	0.9%	3~4	3.8%
4~5	0.9%	7~8	0.4%	4~5	0.8%
5~6	0.0%	8~9	0.0%	5~6	0.4%
>6	0.0%	>9	0.0%	>6	0.0%

(2)距离观测半测回间较差以及测回间较差的统计见说明表 3.8.7—2。

说明表 3.8.7—2 隧道洞内 CP II 自由测站边角交会网距离观测精度指标统计

半测回间距离较差		测回间距离较差	
区间(mm)	比例	区间(mm)	比例
0~0.3	87.1%	0~0.3	94.8%
0.3~0.5	10.0%	0.3~0.5	5.0%
0.5~0.8	2.7%	0.5~0.8	0.3%
0.8~1.0	0.2%	0.8~1.0	0.0%
>1.0	0.0%	>1.0	0.0%

(3)隧道洞内 CP II 自由测站边角交会网平差包括自由网无约束平差和约束网平差。隧道洞内 CP II 自由测站边角交会网自由网无约束平差方向、距离改正数的统计见说明表 3.8.9—1。

说明表 3.8.9—1 洞内 CP II 自由测站边角交会网
无约束平差方向、距离改正数统计

自由网方向改正数		自由网距离改正数	
区间(″)	比例	区间(mm)	比例
0~2	98.2%	0~2	99.3%
2~3	1.4%	2~3	0.6%
3~4	0.1%	3~4	0.1%
4~5	0.3%	4~5	0.0%
>5	0.0%	>5	0.0%

(4)隧道洞内 CP II 自由测站边角交会网约束平差方向、距离改正数的统计见说明表 3.8.9—2。

**说明表 3.8.9—2 洞内 CP II 自由测站边角交会网
约束平差方向、距离改正数统计**

约束网方向改正数				约束网距离改正数			
与已知点联测		与洞内 CP II 联测		与已知点联测		与洞内 CP II 联测	
区间(″)	比例	区间(″)	比例	区间(mm)	比例	区间(mm)	比例
0~2	97.9%	0~2	97.5%	0~2	76.8%	0~2	97.7%
2~3	1.7%	2~3	2.2%	2~4	17.1%	2~3	2.3%
3~4	0.1%	3~4	0.2%	4~6	1.2%	3~4	0.0%
4~5	0.3%	4~5	0.0%	6~8	2.4%	4~5	0.0%
>5	0.0%	>5	0.0%	>8	2.4%	>5	0.0%

(5)隧道洞内 CP II 自由测站边角交会网约束平差后测距中误差、方向观测中误差及相邻点位坐标中误差的统计见说明表 3.8.10。表中相邻点位坐标中误差是指隧道内相邻 CP II 控制点间的相对坐标中误差,不包括自由测站与自由测站上直接观测控制点间的相对坐标中误差。

说明表 3.8.10 约束平差后测距中误差、测角中误差及相邻点位坐标中误差

测距中误差		方向观测中误差		相邻点位坐标中误差	
区间(mm)	比例	区间(″)	比例	区间(mm)	比例
0~1	61.5%	0~0.5	0.0%	0~1	33.7%
1~2	36.7%	0.5~1	16.7%	1~2	43.6%
2~3	1.8%	1~1.5	33.3%	2~3	20.4%
3~4	0.0%	1.5~2.0	33.3%	3~4	2.1%
4~5	0.0%	2.0~2.5	16.7%	4~5	0.2%
>5	0.0%	>2.5	0.0%	>5	0.0%

关于第 3.8.7 条中“隧道洞内 CP II 自由测站边角交会测量应采用全站仪按全圆方向观测法自动观测方向和距离”说明如下:

全站仪观测和传统经纬仪观测不一样。全站仪观测时,除了

观测方向外,还同时观测了距离。因此,全站仪隧道洞内 CP II 自由测站边角交会测量是按全圆方向观测法自动观测方向和距离,而不是传统的全圆方向观测。目前该方法应用相当广泛,如 CP III 自由测站边角交会测量、隧道洞内 CP II 导线网测量、全站仪变形测量自动监测等。

关于第 3.8.8 条中“隧道洞内 CP II 自由测站边角交会网应附合在隧道进、出口 CP I 或 CP II 控制点上”说明如下:

当隧道长度 < 2 km 时,隧道洞内 CP II 自由测站边角交会网可附合在隧道进、出口 CP I 或 CP II 控制点上;当隧道长度 ≥ 2 km 时,隧道洞内 CP II 自由测站边角交会网须附合在隧道进、出口 CP I 控制点上。

关于第 3.8.8 条中隧道洞内 CP II 自由测站边角交会网的方位角闭合差的定义如下:

由于隧道洞内 CP II 自由测站边角交会网没有对两相邻控制点进行直接的水平方向与距离测量,因此无法像传统洞内导线网一样计算方位角闭合差和导线全长相对闭合差。由于隧道洞内 CP II 自由测站边角交会网分别在隧道进、出口处各联测了一对 CP I / CP II 控制点,因此可以利用隧道进口的一对 CP I / CP II 控制点推算隧道出口处已知控制点 i 和已知控制点 j 的平面坐标,再推算出隧道出口处已知控制点 i 和 j 之间的坐标方位角,与隧道出口处已知控制点 i 和 j 之间的已知坐标方位角之差即为隧道洞内 CP II 自由测站边角交会平面网的方位角闭合差。隧道洞内 CP II 自由测站边角交会平面网的方位角闭合差可按下式计算:

$$\begin{aligned} \Delta T_{ij} &= |T_{ij\text{推算}} - T_{ij\text{已知}}| \\ &= \left| \arctan\left(\frac{Y_{j\text{推算}}^0 - Y_{i\text{推算}}^0}{X_{j\text{推算}}^0 - X_{i\text{推算}}^0}\right) - \arctan\left(\frac{Y_{j\text{已知}}^0 - Y_{i\text{已知}}^0}{X_{j\text{已知}}^0 - X_{i\text{已知}}^0}\right) \right| \end{aligned} \quad (\text{说明 3.8.8})$$

式中 ΔT_{ij} ——隧道洞内 CP II 自由测站边角交会平面网的方位角闭合差;

$T_{ij\text{推算}}, T_{ij\text{已知}}$ ——隧道出口处已知控制点 i 和 j 之间的推算坐标方位角和已知坐标方位角；

$(X_{\text{推算}}^0, Y_{\text{推算}}^0), (X_{\text{推算}}^0, Y_{\text{推算}}^0)$,
 $(X_{\text{已知}}^0, Y_{\text{已知}}^0), (X_{\text{已知}}^0, Y_{\text{已知}}^0)$ ——隧道出口处已知控制点 i 和 j 的推算坐标和已知坐标。

关于第 3.8.11 条“对于满足洞内 CP II 自由测站边角交会网约束点精度要求的隧道洞内施工控制点,应作为约束点参与洞内 CP II 自由测站边角交会网约束平差”中有关参与洞内 CP II 自由测站边角交会网约束平差的洞内施工控制点的精度条件是:这些点作为约束点参与洞内 CP II 自由测站边角交会网约束平差后,约束网的各项精度指标应满足表 3.8.9—2 和表 3.8.10 的要求。

3.9.1 CP III 控制网是轨道铺设、精调以及运营维护的基准,为了保证在轨道的铺设、精调以及运营维护阶段有一个安全、可靠、稳定的控制基准,因此对于无砟轨道及速度 200 km/h 有砟铁路,要求 CP III 控制网应在通过沉降和变形评估后再施测。

由于 CP I、CP II 控制网经过数年的施工,受外界环境的变化和施工的影响可能会发生位移变化。为了保证 CP I、CP II 控制网的精度满足 CP III 网附合的要求,在 CP III 控制网测量前应对全线的 CP I、CP II 控制网进行复测,并采用复测后合格的 CP I、CP II 成果进行 CP III 控制网测设。

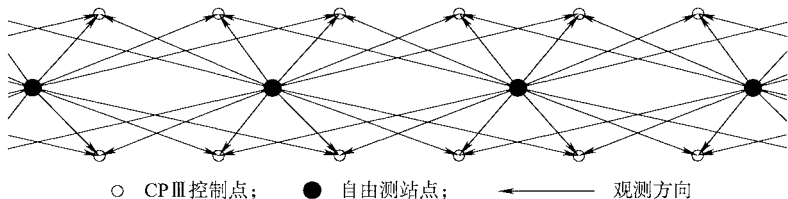
3.9.2 CP III 平面建网后,需要对 CP III 进行定期和不定期的复测,特别是线路开通后运营期 CP III 平面复测。考虑到每天复测作业时间(天窗)有限,为了便于 CP III 平面复测,提高 CP III 平面复测效率,需将 CP III 平面控制网所需联测的已知点按本规范第 3.7 节的点位密度及测量精度加密到线上去。线上加密 CP II 控制点埋设要求如下:

(1) 路基段应尽可能利用线路拉线基础、涵洞帽石等稳定地方便埋设线上 CP II 加密桩。

(2) 桥梁段线上 CP II 加密桩应布设在桥梁固定支座端防护墙(挡砟墙)顶上。

(3)线上 CP II 加密桩位置选择应保证 CP III 网联测条件,不影响 GNSS 观测,不影响行车安全,并方便 CP III 网联测。

3.9.3 CP III 自由测站边角交会测量是一种先进的、可靠的测量方法,特别适合带状控制网测量,其观测网形如说明图 3.9.3 所示。



说明图 3.9.3 CP III 平面网观测网形示意图

与常规导线网测量比较,CP III 自由测站边角交会测量具有以下优点:

(1)点位分布均匀,有利于轨道施工精调和运营养护维修作业精度的控制。

(2)网形均匀对称,图形强度高,每个 CP III 控制点有三个方向交会,多余观测量多,可靠性强,测量精度高。

(3)相邻点间相对精度高,兼容性好,能有效控制轨道的平顺性。

(4)控制点采用强制对中标志,自由测站没有对中误差,消除了点位对中误差对控制网精度的影响。

(5)有利于使用轨道几何状态测量仪进行轨道施工和精调。轨道精调测量时,相邻测站间有两对 CP III 自由测站边角交会测量点共用,能有效减少相邻测站间的搭接误差,提高轨道测量的平顺性。

需要说明的是,根据铁路工程建设和运营养护的需求,遵循技术可行、经济合理的原则,速度 ≤ 200 km/h 无砟铁路和 160 km/h $<$ 速度 ≤ 200 km/h 有砟铁路 CP III 平面网测量应采用自由测站边角

交会法,其 CPⅢ控制桩点间距应按 50 m~70 m 布设一对点。速度 ≤ 160 km/h 双线有砟铁路 CPⅢ平面网测量应采用自由测站边角交会法,其 CPⅢ控制桩点间距按 ≤ 120 m 布设一对点。速度 ≤ 160 km/h 单线有砟铁路 CPⅢ平面网测量应采用自由测站边角交会法,其 CPⅢ控制桩点间距按 50 m~70 m 布设一个点。另外,CPⅢ一级导线测量形式一般用于地方铁路、支线或专用线上,对于采用大机养护的干线铁路,CPⅢ平面网应采用自由测站边角交会的测量方法进行施测。对于城际铁路,CPⅢ平面网测量均应采用点对自由测站边角交会法。

3.9.4 本条第 1 款中,CPⅢ标志重复性安装误差是指同一标志在同一个预埋件上重复安装后的棱镜中心坐标较差的限差;互换性安装误差是指不同标志安装在同一个预埋件上棱镜中心坐标较差的限差。其各项限差是根据《高速铁路工程测量规范》TB 10601 相应规定,并结合近年来 CPⅢ平面网测量的实践制定。

本条第 9 款中 CPⅢ分区段接头不应位于车站范围内,是由于车站范围内要进行道岔安装,而道岔施工必须在一个 CPⅢ控制网内整体控制,一次完成,因此不允许在车站范围内存在 CPⅢ控制网接头。车站范围指车站进出站信号机外 300 m 以内的范围。

本条中 CPⅢ自由测站边角交会测量的各项精度指标是根据时速 200 km 及以下客货共线、城际铁路以及重载铁路的平顺性要求制定,其目的是在保证轨道精调和运营养护精度的前提下,做到经济合理。客货共线、城际铁路以及重载铁路静态平顺度标准见《铁路轨道设计规范》TB 10082 的相关要求。

从客货共线、城际铁路以及重载铁路静态平顺度标准要求可知:速度 120 km/h 以上无砟客货共线、速度 120 km/h 以上无砟重载铁路及速度 160 km/h、速度 200 km/h 无砟城际铁路的静态平顺度要求与高速铁路静态平顺度标准基本相同,因此上述无砟铁路各项指标采用了高速铁路 CPⅢ测量的标准。速度 120 km/h 及以下无砟客货共线、速度 120 km/h 及以下无砟重载铁路、速度

120 km/h 无砟城际铁路及速度 200 km/h 有砟城际铁路的静态平顺度要求与速度 200 km/h 有砟客货共线静态平顺度标准基本相同,因此上述铁路各项指标采用了速度 200 km/h 有砟客货共线 CPⅢ测量的标准。而速度 160 km/h 及以下有砟客货共线、速度 160 km/h 及以下有砟重载铁路及速度 160 km/h、速度 120 km/h 有砟城际铁路的静态平顺度允许偏差是速度 200 km/h 有砟客货共线的 1.5~2 倍,因此上述有砟铁路 CPⅢ测量的各项指标也相应放宽了 1.5~2 倍。

4.1.1 高程控制测量等级的划分,参照《工程测量规范》GB 50026—2007 的等级系列,增加一等水准主要是考虑到现在铁路工程桥梁、隧道有不断变长趋势,几十公里的桥梁、隧道开始出现,有建立一等水准网需要。如西安安康线秦岭隧道的施工控制网就采用了一等水准网测设。

各等级高程控制网采用的每千米水准测量偶然中误差、每千米水准测量全中误差和水准路线长度等技术要求,参照《国家一、二等水准测量规范》GB/T 12897—2006、《国家三、四等水准测量规范》GB/T 12898—2009 以及《工程测量规范》GB 50026—2007 制定。

4.1.4 铁路工程高程控制测量的目的是为线下工程施工和轨道施工、营运维护提供高程控制基准。为了满足线下工程施工的要求,需建立全线统一的高程控制基准,即线路水准基点。在轨道施工和营运维护阶段,线路水准基点的密度不能满足轨道施工和营运维护的要求,因此在线路水准基点控制网基础上建立第二级永久性的轨道高程控制网 CPⅢ。

4.1.5 当同一铁路同时存在无砟轨道段与有砟轨道段,或者同一铁路不同路段设计速度目标值不同时,可能存在不同等级高程控制网衔接问题。当不同等级线路水准基点控制网的分界处附近有国家高等级水准点时,高等级线路水准基点起闭于分界处附近的国家高等级水准点,低等级线路水准基点控制网宜以搭接处的高

等级线路水准基点作为约束点参与平差。

当不同等级线路水准基点控制网的分界处附近无国家高等级水准点时,线路水准基点采用全线不等权整体严密平差的方法进行衔接,平差计算时将高等级段水准测量的权适当加大,这样既能保证不同精度水准测量段落的平顺衔接,又保证了高等级段的线路水准基点精度满足轨道施工精调的要求。在渝利线、兰渝线、厦深线等隧道无砟轨道水准测量中,均采用此方法,证明了这是一种可行、有效、实用的方法。

4.2.1~4.2.7 水准测量的主要技术系列指标参照现行国家标准《国家一、二等水准测量规范》GB/T 12897—2006、《国家三、四等水准测量规范》GB/T 12898—2009 以及《工程测量规范》GB 50026—2007 并结合铁路工程测量的特点而综合制定。

4.3.1 三等光电测距三角高程测量对向观测高差较差规定是根据中铁二院科研项目《采用三角高程进行山区三等水准测量方法研究》和渝利线、蒙河线三角高程测量实践经验总结出来的。四等、五等光电测距三角高程测量对向观测高差较差引自《工程测量规范》GB 50026—2007,附和或环线高差闭合差引自相应等级水准测量的规定。

由于受大气折光差的影响,要求光电测距三角高程测量的对向观测高差较差达到三等水准测量的往返测较差 $\leq 12\sqrt{D}$ 是很难的,而大气折光差可以通过取往返测高差平均值进行消除或减弱。试验结果证明:两组光电测距三角高程测量的对向观测高差平均值完全能满足较差 $\leq 12\sqrt{D}$ 的要求。当一组对向观测高差较差 $\leq 25\sqrt{D}$ 时,其往返测高差平均值能满足三等水准测量高差的要求。

四、五等光电测距三角高程测量的对向观测高差较差参照《工程测量规范》GB 50026—2007 制定。

光电测距三角高程测量的附和或环线高差闭合差与相应等级水准测量的限差一致。

4.3.2 参照现行国家标准《国家三、四等水准测量规范》GB 12898—2009 和《工程测量规范》GB 50026—2007,结合生产实践经验以及中铁二院科研项目《采用三角高程进行山区三等水准测量方法研究》制定。

4.3.3 各等级光电测距三角高程测量的高差测量,规定采用对向观测,主要是为了抵消观测中的大气折光影响。

在研究和分析光电测距三角高程测量的科研和生产成果资料基础上,结合有关理论,规定了光电测距三角高程测量的技术要求。现将有关要求说明如下:

(1)对向观测组数是指光电测距三角高程测量中,两测站点间进行一次完整的对向观测为一组。

(2)关于光电测距三角高程测量误差分析。

设视线的垂直角为 α ,仪器的测角精度为 m_α ,仪器的测距精度为 m_S ,仪高和反射镜高的量取精度分别为 m_i 、 m_v ,大气折光对高差的影响为 m_f 。由往返测高差中误差传播律可得:

$$m_{h_{AB}}^2 = \sin^2 \alpha \cdot m_S^2 + S^2 \cdot \cos^2 \alpha \frac{m_\alpha^2}{\rho^2} + m_i^2 + m_v^2 + m_f^2 \quad (\text{说明 } 4.3.3-1)$$

由误差传播率可得:

$$m_f^2 = \frac{(1+k^2)S^2}{R^2} m_S^2 + \frac{S^4}{4R^2} m_k^2 \quad (\text{说明 } 4.3.3-2)$$

对式(说明 4.3.3—1)、式(说明 4.3.3—2)进行整理,可得:

$$m_{h_{AB}}^2 = S^2 \cdot \cos^2 \alpha \cdot \frac{m_\alpha^2}{\rho^2} + \left[\sin^2 \alpha + \frac{(1+k^2)}{R^2} S^2 \right] \cdot m_S^2 + \frac{S^4 m_k^2}{4R^2} + m_i^2 + m_v^2 \quad (\text{说明 } 4.3.3-3)$$

从式(说明 4.3.3—3)中看出:垂直角 α 的观测误差所引起的高差中误差为 $S \cdot \cos \alpha \cdot \frac{m_\alpha}{\rho}$,因此三角高程测量中,高差中误差与

$\frac{S \cdot \cos \alpha}{\rho}$ 和 m_α 成正比;由边长 S 的观测误差所引起的高差中误差

为 $\sqrt{\sin^2 \alpha + \frac{(1+k^2)}{R^2} S^2} \cdot m_s$, 因此三角高程测量中, 高差中误差与 $\sqrt{\sin^2 \alpha + \frac{(1+k^2)}{R^2} S^2}$ 和 m_s 成正比。

由折光系数 k 误差所引起的高差中误差为 $\frac{S^2}{2R} \cdot m_k$, 折光系数 k 主要取决于温度梯度和大气密度。一般认为早晚变化较大, 中午附近比较稳定, 阴天和夜间最好。通过对往返高差进行气差改正后再取均值, 可大大削弱 k 误差的影响。但是, 由于折光系数 k 是个变数, 通常采用其平均值来计算大气折光的影响。因此, 其系数是有误差的。一些文献表明, 大气折光系数 k 的中误差约为 $\pm 0.02 \sim \pm 0.04$ 。取 $m_k = \pm 0.03$, 由式(说明 4.3.3—3)右边第三项可得折光差对三角高差的影响, 其结果见说明表 4.3.3。

说明表 4.3.3 折光差对三角高程测量高差的影响

距离(m)	影响量(mm)	距离(m)	影响量(mm)
100	0.02	600	0.85
200	0.09	700	1.15
300	0.21	800	1.51
400	0.38	900	1.91
500	0.59	1 000	2.35

从说明表 4.3.3 可以看出, 当三角高程测量的边长距离超过 600 m 时, 大气折光系数 k 的误差对三角高程测量高差的影响会急剧增大, 因此三角高程测量的边长不宜过长。

在全站仪标称精度确定的前提下(如使用 Leica TC1800 全站仪时, 测角标称精度为 $1''$, 测距标称精度为 $1 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$), 假定三角高程的边长为 600 m, 垂直角为 30° , 则按式(说明 4.3.3—3)可计算出三角高程测量的高差中误差:

$$m_{h_{AB}}^2 = S^2 \cdot \cos^2 \alpha \cdot \frac{m_a^2}{\rho^2} + \left[\sin^2 \alpha + \frac{(1+k^2)}{R^2} S^2 \right] \cdot m_s^2 + \frac{S^4 m_k^2}{4R^2} + m_i^2 + m_v^2$$

$$\begin{aligned}
&= (600 \times 1\,000)^2 \cdot \cos^2(30 \times \pi/180) \cdot \frac{1.0^2}{206\,265^2} + \\
&\quad \left[\sin^2(30 \times \pi/180) + \frac{(1+0.16^2)}{6\,370\,000^2} \cdot (600 \times 1\,000)^2 \right] \cdot \\
&\quad 2.2^2 + \frac{600^4}{4 \times 6\,370\,000^2} \cdot 0.03^2 + 0.5^2 + 0.5^2 \\
&= 6.35 \text{ mm}^2 + 1.21 \text{ mm}^2 + 0.72 \text{ mm}^2 + 0.25 \text{ mm}^2 + 0.25 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

由以上分析可知,在全站仪三角高程测量中,全站仪测角误差 m_α 对三角高程高差中误差 $m_{h_{AB}}$ 的影响最大,是三角高程测量的主要误差来源,而且,随着三角高程测量距离的不断变大,测角误差 m_α 对三角高程高差中误差 $m_{h_{AB}}$ 的影响会急剧增大。因此,当三角高程测量的距离变大时,必须适当增加三角高程测量的测回数,以提高三角高程的测角精度,从而减小测角误差 m_α 对三角高程高差中误差 $m_{h_{AB}}$ 的影响。其次是全站仪测距误差 m_s 对高差中误差 $m_{h_{AB}}$ 的影响;再者是大气折光差 m_k 对高差中误差 $m_{h_{AB}}$ 的影响;而仪器高和棱镜高的量取误差对高差中误差 $m_{h_{AB}}$ 的影响较小。

4.3.4 由于三、四等水准测量测段间都要求往返测量,为了保证三、四等光电测距三角高程测量精度满足规范要求,因此规定三、四等光电测距三角高程测量进行双程测量,即相当于水准测量的往返测。

双程对向方法:采用两台全站仪分别进行往返观测或一台全站仪重复进行往返观测。

单程双对向方法:采用一台全站仪在同一测站上变换仪器和反射镜高度分别进行两次往测和两次返测,然后组成两组对向观测高差。取两组对向观测高差平均值的中数作为高差测量值。

4.3.8 采用双程对向方法或单程双对向方法观测时,只要两组对向观测高差平均值较差满足限差(三等: $\leq 12\sqrt{D}$; 四等: $\leq 20\sqrt{D}$) 要求,则不必强求同组之间往返测高差较差满足限差(三等: $\leq 25\sqrt{D}$; 四等: $\leq 40\sqrt{D}$) 要求,主要是为了克服大气折光系数改

正不准造成的往返测高差较差超限的问题。

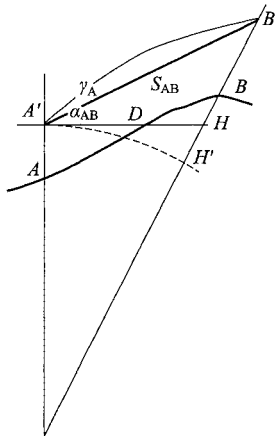
4.4.1 精密光电测距三角高程测量是指利用标称精度不低于 $0.5''$ 、 $1\text{ mm}+1\times 10^{-6}D$ 的全站仪代替二等和精密水准测量,所采用的全站仪应具有自动目标搜索、自动照准、自动观测功能。实践证明,只要同时进行对向观测、减少或削弱垂线偏差的影响,能够满足二等和精密水准测量的要求。

4.4.2 为使两台全站仪做到同时对向观测,应对反射棱镜和对中杆进行特殊加工。

4.4.3 精密光电测距三角高程测量原理如说明图 4.4.3 所示。由说明图 4.4.3 可知,从 A 点观测 B 点, A' 为仪器中心, B' 为棱镜中心,观测竖直角为 α_{AB} ,斜距为 S_{AB} ,仪器高 AA' 为 i_A ,棱镜高 BB' 为 v_B , γ_A 为 A 点在观测方向上的垂直折光角, $H'H = D^2/2R$ 为地球曲率对高差的影响,则 B 点对于 A 点的高差为

$$h_{AB} = S_{AB} \cdot \sin\alpha_{AB} - S_{AB} \cdot \cos\alpha_{AB} \cdot \gamma_{AB} + i_A - v_B + D^2/2R$$

(说明 4.4.3—1)



说明图 4.4.3 三角高程测量原理示意图

同理,从 B 点观测 A 点,可得 A 点对于 B 点的高差为

$$h_{BA} = S_{BA} \cdot \sin\alpha_{BA} - S_{BA} \cdot \cos\alpha_{BA} \cdot \gamma_{BA} + i_B - \nu_A + D^2/2R$$

(说明 4.4.3—2)

如果对向观测,则 B 点对于 A 点的高差取平均值得

$$h_{AB} = 0.5 \cdot [(S_{AB} \cdot \sin\alpha_{AB} - S_{BA} \cdot \sin\alpha_{BA}) - (D \cdot \gamma_{AB} - D \cdot \gamma_{BA}) + (i_A - i_B) + (\nu_A - \nu_B)]$$

(说明 4.4.3—3)

式中, $\gamma = K \cdot D/2R$ 。K 为大气垂直折光系数,则

$$h_{AB} = 0.5 \cdot [(S_{AB} \cdot \sin\alpha_{AB} - S_{BA} \cdot \sin\alpha_{BA}) - (K_{AB} - K_{BA}) \cdot D^2/2R + (i_A - i_B) + (\nu_A - \nu_B)]$$

(说明 4.4.3—4)

当采用两台全站仪作同时对向观测时,一般情况下可认为 $K_{AB} \approx K_{BA}$, 则

$$h_{AB} = 0.5 \cdot [(S_{AB} \cdot \sin\alpha_{AB} - S_{BA} \cdot \sin\alpha_{BA}) + (i_A - i_B) + (\nu_A - \nu_B)]$$

(说明 4.4.3—5)

式中,除由两台全站仪观测的斜距 S_{AB} 、 S_{BA} 及竖直角 α_{AB} 、 α_{BA} 外,还要精确地量取仪器高和棱镜高。在精密高程测量作业中,要将仪器高和棱镜高量测到小于 0.5 mm 是极其困难的。因此,采取一定的作业方法,在一个测段三角高程测量中使得各站的仪器高和棱镜高能够相互抵消,就可以不量仪器高和棱镜高。

4.4.4 本条中的往返观测是指水准点间按对向观测的要求独立进行往返观测,第 4.4.2 条中的同时对向观测只是一个单程测量。精密三角高程测量代替二等和精密水准测量必须进行往返观测并计算往返测高差较差。

4.5.1~4.5.3 跨河水准测量的技术要求参照现行国家标准《国家一、二等水准测量规范》GB/T 12897—2006 和《国家三、四等水准测量规范》GB/T 12898—2009,结合铁路工程跨河水准测量的实践经验制定。

4.5.4 现行《国家一、二等水准测量规范》GB/T 12897—2006 规定:采用三角高程法进行一、二等跨河水准测量时,应布设大地四

边形图形。这种图形由 4 条跨河边构成 3 个独立的闭合环,具有检核条件较多的优点,但因此也造成其结构比较复杂,导致一个时段组的观测时间较长、工作量较大、同一条跨河边的对向观测不具同步性等问题。同时,采用复杂图形布设跨河场地,并不利于提高测量精度,因此没有必要组成一定的几何图形。根据以上理由,本规范中设计了如图 4.5.4 所示的平行四边形和等腰梯形两种简单图形。

通过理论分析可知,上述两类方法完成 4 个单测回观测所需的总时间相同,但在同一条边两个单程观测的时间间隔、同步观测组之间的最大时间间隔上,本规范方法比国家规范方法明显缩短,即本规范提出的方法比现行国家规范中的方法在对向观测的同步性方面有明显改善,有利于提高外业观测成果的合格率及成果精度。说明表 4.5.4 给出了两个典型工程实例的分析对比情况。由表可见,本规范方法的成果合格率和作业效率明显高于国家规范方法。

说明表 4.5.4 两个工程实例的作业效率比较

工 程	方 法	跨距(km)	外业天数(d)	实测组数	合格组数	合格率(%)
A	国家规范	2.6	18	15	8	53.3
B	本规范	1.8	7	18	17	94.4

4.5.5 采用三角高程法进行四、五等跨河水准测量时,场地布设、仪器选用、本岸测站点间高差测定、垂直角观测程序和方法、测站点间距离测量、观测高差的限差检算等可按照三角高程法进行一等、二等、精密水准、三等跨河水准测量的规定执行,而测回数 and 组数应符合本规范表 4.5.2 的规定。为提高工作效率,当四等、五等跨河视线长度分别不大于 800 m、1 000 m 时,也可按本规范第 4.3 节“光电测距三角高程测量”的技术要求进行跨河水准测量。

4.5.7 GNSS 高程传递的基本思想为:联合 GNSS 技术测定的大地高 h (或大地高高差 Δh)和物理大地测量学方法确定的高程异

常 ζ (或高程异常差 $\Delta\zeta$), 求定未知点的正常高 H^{γ} (或未知点与已知点之间的正常高高差 ΔH^{γ}), 从而实现长距离高程传递和区域高程基准的统一, 即满足下式:

$$H^{\gamma} = h - \zeta \text{ 或 } \Delta H^{\gamma} = \Delta h - \Delta\zeta \quad (\text{说明 } 4.5.7-1)$$

根据误差传播定律, GNSS 高程传递的精度 $m_{H^{\gamma}}$ 取决于 GNSS 测定大地高的精度 m_h 和物理大地测量学方法确定高程异常的精度 m_{ζ} , 即满足下式:

$$m_{H^{\gamma}}^2 = m_h^2 + m_{\zeta}^2 \quad (\text{说明 } 4.5.7-2)$$

目前 GNSS 测定大地高的精度可以达到厘米级甚至毫米级, 因此确定高精度的高程异常 (或高程异常差) 对实现长距离高程的精密传递至关重要。

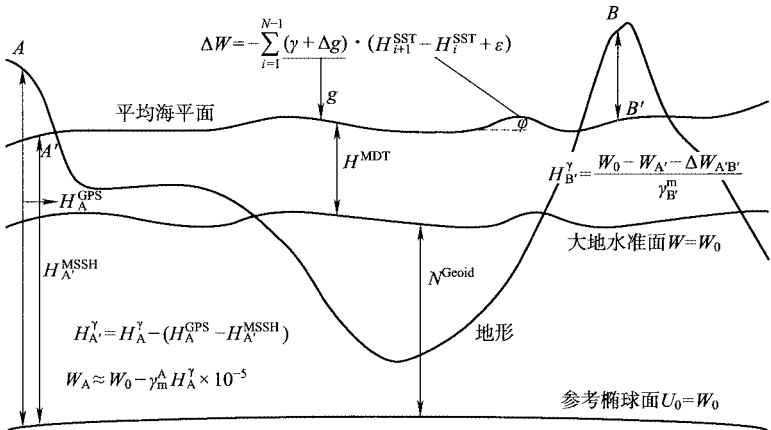
(1) GNSS 水准法: 利用 GNSS 水准测量测定的高精度高程异常或高程异常差数据 (GNSS 水准数据) 对现有 (似) 大地水准面模型 (如 EGM2008 或 CQG2000 等) 进行精化, 采用精化后的高程异常或高程异常差分别按高程异常拟合法或高程异常差拟合法来实现高程的传递。利用 GNSS 水准法进行高程传递的精度主要取决于地球重力场模型 (或已知似大地水准面模型, 如 CQG2000) 的精度和分辨率、GNSS 水准点的分布和密度等。

(2) 绝对重力位差法: 假设过高程原点 (起算点) P 的重力等位面 (高程基准面 1) 为 W_0^1 , 过高程原点 Q 的重力等位面 (高程基准面 2) 为 W_0^2 。所谓绝对重力位差法, 即利用实测 GNSS 水准数据和高精度重力场模型确定两个高程基准面之间的重力位差 $\Delta W_0^{12} = W_0^2 - W_0^1$, 根据 Bruns 公式求定任意点相对于两个高程基准面的垂直偏差, 从而实现高程基准的统一和高程传递。通过选择高精度地球重力场模型, 改善 GNSS 水准点的分布和密度 (如增加 GNSS 水准点), 可以提高该方法的计算精度。

(3) 相对重力位差法: 根据位理论的相关知识, 待测点的重力位数可通过测线上的水准观测高差与水准路线沿线的重力观测值乘积的积分精确地确定。但是在海洋区域, 不可能实施精密水准

测量,因此,海岛上的待测点的重力位数也就不能按照陆地上的方法精确求取。

海面地形定义为平均海平面与大地水准面之间的距离(MDT),即平均海平面上一点的正高值。在海面上,认为大地水准面与似大地水准面重合,因此可认为海面上相邻两点间的海面地形的差值,类似于陆地上相邻两点间水准测量的观测高差。根据陆地上的水准测量原理,设想在高程传递起算点与待测点之间布设虚拟水准路线,将相邻测站间海面地形的差值视为虚拟水准路线的观测值。这样,就可以按照陆地上重力位数的求取方法,计算虚拟水准路线上相邻虚拟测站点间海面地形的差值(即虚拟水准观测高差)与测站间海面上重力值的乘积,然后对沿线所有相邻测站进行积分,即可求定高程传递起算点与海岛区域待测点之间的重力位差(说明图 4.5.7),称之为相对重力位差法。根据地球位数与高程系统的关系,实现跨海高程的传递。提高海面高模型、海洋重力异常及参考重力场模型的精度和分辨率,能够改善该方法的高程传递精度。



说明图 4.5.7 海洋区域重力位差计算

(4)垂线偏差法:(重力)垂线偏差反映了大地水准面相对于平椭球体面的倾斜,因此可以通过垂线偏差来计算大地水准面差距或者高程异常。该方法受传递距离的影响较大,建议按起算点和待传递点直线路径或近似直线路径传递正常高,根据已知数据的分辨率在传递路线上设置数目适当的虚拟测站,并且虚拟传递路线尽可能经过垂线偏差变化平缓的区域。

4.6.1 高程系统中最常用的有正高系统(以大地水准面为参考基准面)和正常高系统(以似大地水准面为参考基准面),我国使用的高程系统是正常高系统。采用 GNSS 测量技术测定地面点的高程是以地心坐标的地球椭球面为基准的大地高 H ,大地水准面和似大地水准面相对于地球椭球面有一个高度差,分别称为大地水准面差距 N 和高程异常 ζ 。

大地高 H 、正高 H_g 和正常高 H_r 之间的高程关系为

$$H = H_g + N \text{ 或 } H = H_r + \zeta \quad (\text{说明 } 4.6.1)$$

如果能够比较精确地确定地面点的高程异常,则用 GNSS 测量方法可精确测定地面点的正常高。确定地面点高程异常的方法主要有:大地水准面模型法、重力测量法、几何拟合法、区域似大地水准面精化法等。不管采用哪种方法,均是利用已知点数据,建立高程异常的改正模型,从而计算待求点的高程异常。

根据国内部分工程项目 GNSS 拟合高程精度统计,大多数测区可达到四等精度。但在山区大地水准面变化复杂区域,目前还没有足够的试验数据证明可以利用 GNSS 高程测量来代替四等水准测量。鉴于铁路工程对高程精度要求的特殊性,为了稳妥安全,要求 GNSS 高程测量适用于高程异常变化平缓地区的五等及以下高程测量。

4.6.2 目前全球公开精度最高的大地水准面模型为 EGM2008,我国有 CQG2000 和新一代似大地水准面模型 CNGG2013,由于重力资料属国家机密,尚不能推广应用,因此能利用的大地水准面模型为 EGM2008。直接利用大地水准面模型求得的高程异常还

满足不了铁路工程高程精度要求,所以通常采用几何拟合法(包括直线拟合法、曲线拟合法、平面拟合法、曲面拟合法、双 B 样条拟合法、考虑地形影响的曲面拟合法等)及区域似大地水准面精化法。

(1)基于似大地水准面模型精化的高程异常拟合法采用已知高程基准地区 GNSS 水准测量测定的高程异常 $\zeta^{\text{GNSS/L}}$ 对地球重力场模型计算的高程异常 ζ^{GM} (模型高程异常)进行修正或精化,以提高模型高程异常的精度。精化模型如下:

$$\zeta^{\text{GNSS/L}} = \zeta^{\text{GM}} + a_0 + a_1 \cos(B) \cos(L) + a_2 \sin(B) \sin(L) \quad (\text{说明 } 4.6.2-1)$$

式中 B, L ——GNSS 水准点的大地纬度、经度;

a_0, a_1, a_2 ——待求系数。

模型高程异常按下式计算:

$$\zeta^{\text{GM}} = \frac{GM}{\gamma r} \sum_{n=2}^{N_{\max}} \left(\frac{a}{r}\right)^n \sum_{m=0}^n (\bar{C}_{mn} \cos m\lambda + \bar{S}_{mn} \sin m\lambda) \bar{P}_{mn}(\sin\varphi) \quad (\text{说明 } 4.6.2-2)$$

式中 GM ——万有引力常数与地球总质量的乘积;

a ——参考椭球的长半轴;

φ, λ, r ——地心纬度、地心经度、地心向径;

$\bar{P}_{mn}(\sin\varphi)$ ——完全规格化的缔合勒让德函数;

$\bar{C}_{mn}, \bar{S}_{mn}$ ——完全正常化的地球重力位系数;

n, m, N_{\max} ——地球重力场模型的阶、次以及最大阶数。

(2)基于似大地水准面模型精化的高程异常差拟合法采用实测的高程异常差对模型高程异常差进行精化或修正,以提高模型高程异常差的精度。考虑地形起伏对高程异常差的影响,精化模型如下:

$$\Delta\zeta_{ij} = \Delta\zeta_{ij}^{\text{GM}} + a_0 + a_1(B_j - B_i) + a_2(L_j - L_i) + a_3(h_j - h_i) + a_4(B_j L_j - B_i L_i) + a_5(B_j^2 - B_i^2) + a_6(L_j^2 - L_i^2) \quad (\text{说明 } 4.6.2-3)$$

式中 $\Delta\zeta_{ij}$ ——任意两点 i, j 的实测高程异常差;

$\Delta \zeta_{ij}^{\text{GM}}$ ——任意两点 i, j 的模型高程异常差;

h_i, h_j —— i, j 两点的大地高。

4.6.3 联测水准点要求说明:

联测的水准点不宜少于 3 个点。未知点较多时,联测点宜大于未知点点数的 1/5 或联测点间的距离不宜大于 5 km。联测的水准点应均匀分布于网中,外围水准点连成的多边形应包含整个测区。测区明显分几种地形时,应在地形变化部位联测几何水准。

4.6.4 由于大地水准面的复杂性,为了保证 GNSS 高程拟合精度,需要分段求取高程拟合参数。

根据中铁二院与西南交通大学科研项目《铁路工程测量 GPS 数据处理方法研究》,采用观测高差法,仅在测段两端各布设一个已知高程点时,测段中观测少量点间高差,一次处理的测段长度可达到 50 km;采用位系数法,对于带状测区,仅在测段两端各有一个已知高程点即可,一次处理的测段长度可达到 50 km。试验结果如下:

(1)在贵州清黄公路 GPS 控制测量中,测段长 50 km,无论点间高差还是点位高程,观测高差法和位系数法均能满足 $30\sqrt{L}$ 限差要求。

(2)在 C 市 GPS 城市控制测量中,测区面积 $35 \text{ km} \times 40 \text{ km}$,使用 5 个已知高程点,采用二次曲面函数的位系数法,点间高差和点位高程的转换精度均接近四等水准测量的精度要求。

(3)在四川省九龙县高山区水电站控制测量中,在长均 40 km 的一直伸测段中,仅用两端各一个已知高程点,采用位系数法,没有加地形改正,大部分点间高差及点位高程的转换精度满足了 $30\sqrt{L}$ 的限差要求。

(4)在郑西客运专线某测段控制测量中,测段长约 41 km,无论点间高差还是点位高程,观测高差法和位系数法均能满足 $30\sqrt{L}$ 的限差要求。

(5)在武广客运专线某测段控制测量中,测段长约 80 km,无论点间高差还是点位高程,观测高差法和位系数法均能满足 $30\sqrt{L}$ 的限差要求。

综合以上试验结果,为有利于 GNSS 高程测量方法的推广,将每个拟合区的路线长度控制在 50 km 以内。

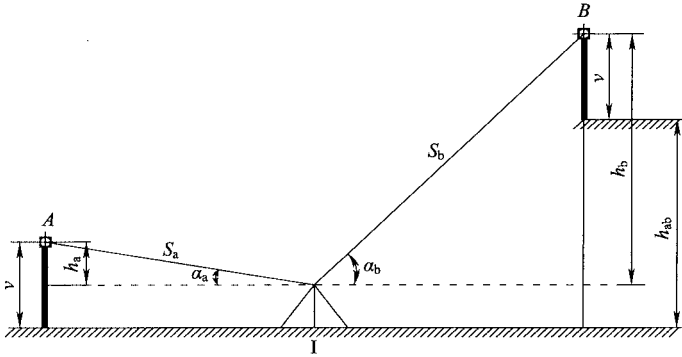
4.7.3 深埋水准点、基岩水准点埋设主要是为了给无砟轨道铁路施工建设和沉降监测提供稳定的高程基准。无砟轨道铁路建设的沉降监测和控制是无砟轨道铁路建设成败的关键。在地表不均匀沉降及地质不良地区,沉降监测需要稳定的基准点,如果没有稳定的深埋水准点和基岩水准点,沉降监测的工作基点的复测必须从国家基岩点引出,将会加大沉降监测工作量,而且精度还得不到保证。

4.7.4 线路水准基点测量等级根据逐级控制原则及不同铁路类型、不同轨道结构和不同速度目标值的轨道平顺性要求制定。由于城际铁路经常要与城市轨道交通项目衔接,为了与城市轨道交通项目在线路水准基点测量等级和精度上相一致,速度 120 km/h 城际无砟轨道铁路及速度 160 km/h、速度 200 km/h 城际有砟轨道铁路线路水准基点测量等级与城市轨道交通项目高程控制测量等级一致,即精密水准测量。

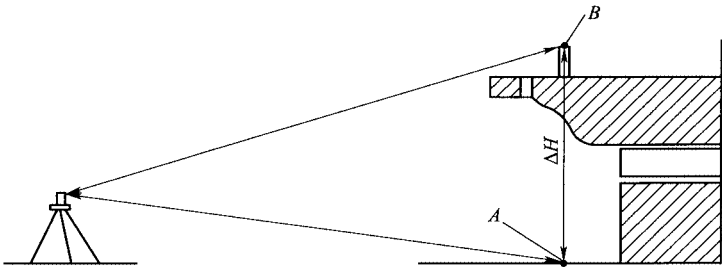
4.8.1 CPⅢ 高程建网后,需要对 CPⅢ 进行定期和不定期的复测,特别是线路开通后运营期 CPⅢ 高程复测,考虑到每天复测作业时间(天窗)有限,为了便于 CPⅢ 高程复测,提高 CPⅢ 高程复测效率,需将 CPⅢ 高程控制网所需联测的已知点加密到线上去。线上加密水准控制点可埋设在接触网杆拉线基础、涵洞帽石及桥梁固定支座端防撞墙或挡砟墙顶上等稳定地点。加密水准点可与线上加密 CPⅡ 共桩。

4.8.2 在不量仪器高和棱镜高设为相等的情况下,使用中间设站光电测距三角高程测量方法求出点 A 和点 B 的高差,其测量原理

如说明图 4.8.2—1 所示。也可以在同一侧设置观测点,如说明图 4.8.2—2 所示。



说明图 4.8.2—1 不量仪器高和棱镜高的中间设站三角高程测量原理示意图



说明图 4.8.2—2 同侧设点三角高程测量原理示意图

4.8.3~4.8.7 CPⅢ高程测量的各项精度指标是根据不同的铁路类型、轨道结构和列车设计速度的轨道静态平顺度标准以及参照《高速铁路工程测量规范》TB 10601、《新建时速 200 公里客货共线有砟轨道铁路轨道控制网测设补充规定》(铁总建设〔2013〕88 号)CPⅢ高程测量的相关标准制定的。

根据《铁路轨道设计规范》TB 10082 的规定,速度 120 km/h 以上无砟客货共线、速度 120 km/h 以上无砟重载铁路及速度 160 km/h、

速度 200 km/h 无砟城际铁路的静态平顺度要求与高速铁路静态平顺度标准基本相同,因此上述无砟铁路各项指标采用了高速铁路 CPⅢ测量的标准。速度 120 km/h 及以下无砟客货共线、速度 120 km/h 及以下无砟重载铁路、速度 120 km/h 无砟城际铁路及速度 200 km/h 有砟城际铁路与速度 200 km/h 有砟客货共线静态平顺度标准基本相同,因此上述铁路各项指标采用了速度 200 km/h 有砟客货共线 CPⅢ测量的标准。而速度 160 km/h 及以下有砟客货共线、速度 160 km/h 及以下有砟重载铁路及速度 160 km/h、速度 120 km/h 有砟城际铁路静态平顺度允许偏差是速度 200 km/h 有砟客货共线的 1.5~2 倍,因此上述有砟铁路 CPⅢ测量的各项指标也相应放宽了 1.5~2 倍。

4.9.4 综合考虑经济性和工作效率,铁路工程高程控制测量一般情况下不进行水准标尺长度、水准标尺温度、正常水准面不平行、重力异常等项计算改正。当一、二等水准测量与国家水准点附合时,在高海拔、高纬度、高山区等地区有可能出现水准路线闭合差超限的情况,此时,所采用高差可根据实际情况进行水准标尺长度、水准标尺温度、正常水准面不平行、重力异常等项计算改正。

5.1.1、5.1.2 线路勘测时首先建立基础平面控制网 CPⅠ,当初测阶段比较方案多,布设 CPⅠ控制网困难时,可先沿线路每 8 km 左右布设一对或每 4 km 左右布设一个 GNSS 控制点作为初测首级控制,在此基础上根据专业需要加密初测控制点,以便于进行勘测,如实测纵横断面、补测地形等。工程可行性研究设计完成后,布设 CPⅠ控制网。定测方案确定后,再布设 CPⅡ控制网,以满足定测需要、节省费用。

5.1.4 初测阶段比较方案多,不具备二、三、四等水准测量的条件,先按五等水准测量精度要求布设初测水准点,满足初测高程测量需要。定测前,再沿线路进行二、三、四等水准测量,作为线路水准基点,以满足定测和施工需要,从而提高勘测效率,降低勘测成本。

5.2.1 目前,铁路长大干线的地形测量全部采用摄影测量成图方

法,但对局部摄影范围以外的区域或支线、专用线的地形测量还有采用全站仪数字化测图法、GNSS RTK 数字化测图方法、经纬仪视距法等方法测图。使用航测地形图时,在现场要对地形图内容进行核对、修正,补测工作也要用到这些方法。

5.2.4 地物点在图上的点位中误差,沿用原规范和引用《铁路工程摄影测量规范》TB 10050—2010 的规定。多年实践表明,这一精度指标满足铁路工程勘测设计要求。

5.2.5 高程注记点和等高线的高程中误差,沿用原规范和引用《铁路工程摄影测量规范》TB 10050—2010 的规定,按地形分类等级进行归并。多年实践表明,这一精度指标满足铁路工程勘测设计要求。

5.2.6 地形图图例符号采用国家现行标准《国家基本比例尺地图图式 第1部分:1:500、1:1 000、1:2 000 地形图图式》GB/T 20257.1—2017 规定的图例符号,与国家的基本图例符号统一,便于地形图资源共享。铁路专用图例符号和图式采用现行《铁路工程图形符号标准》、《铁路工程制图标准》的规定,能满足铁路行业的要求和特点。

地形图要素分类代码可参照国家现行《1:500、1:1 000、1:2 000 地形图要素分类与代码》GB 14804—93 和《基础地理信息要素分类与代码》GB/T 13923—2006 的规定执行,制定合理的要素分类代码,但同一线路要采用相同的要素分类代码。

5.2.13 地形图平面和高程精度的检查和质量评定,是选取代表性地区实测散点检查,全站仪和 GNSS RTK 数字化测图按用同等精度方法检查计算,经纬仪测图按用高精度方法检查计算。

5.3.2 随着测绘技术的进步和发展,设计单位和施工单位均普遍采用全站仪极坐标法或 GNSS RTK 进行定线测量和施工复测。勘测、施工放线均使用 CP I、CP II 平面控制点或加密的控制点来恢复中线,线路控制桩已不再作为勘测、施工放线的控制基准,其作用是为了勘测设计阶段专业调查和临时加桩使

用以及施工单位在施工清场时对线路走向有所了解。因此本条规定线路控制桩钉设方桩及标志桩,而不要求对线路控制桩进行埋石固桩。这样可以节约大量的埋石固桩成本,提高勘测效率。

5.4.2 利用航测方法测绘横断面,横断面测量精度主要与航测精度有关,受摄影比例尺限制,同时受地表植被和摄影质量(如阴影)影响较大。

航测法测绘横断面高程限差、距离限差系根据中铁二院在郑西客运专线上的科研和实践经验确定。航测法测量横断面的高差误差,与地面坡度有关,特别是落在陡坎上的点,因很小的平面误差就可引起较大的高程误差。航测法测量的横断面上各点平面精度相同,与距离无关。第 5.4.3 条中的横断面测量检测限差计算公式,不适合航测法。而在设计时,中线附近的地物都要拆除或改移,只有离中线较远的埡顶或坡底的地物,才会考虑采取适当的工程措施保留。因此规定:航测断面点高差限差允许值一般地区为 ± 0.35 m,距离限差允许值一般地区为 ± 0.3 m。因航测方法无法准确测量隐蔽地区地面点,所以必须对横断面进行现场核对,补测修正。

5.4.3 本规范中横断面测量只提出了全站仪法和 GNSS RTK 法施测,主要是考虑到目前勘测设计单位和施工单位测量,全站仪或 GNSS RTK 的使用已经很普及了,一般进行断面测量时不会再用经纬仪和光电测距仪了。

5.7.2 对线路两侧工程影响范围内的给水、排水、燃气、电力、通信等管线的调查,主要满足各专业具体要求。

5.8.9 复测评判标准:

(1)GNSS 控制点复测采用相邻点间约束平差后三维或二维坐标增量之差的相对精度来分析判断控制点的成果是否存在变化的方法,是根据工程实践经验制定的,考虑了相邻点间边长和方位的变化。边长为 800 m 及以上相邻点间坐标增量之差的相对精度

限差取约束平差后最弱边边长相对中误差的 $\sqrt{2}$ 倍,在此基础上根据工程实践经验制定了边长为 500 m~800 m 和 500 m 以下相邻点间坐标增量之差的相对精度限差。导线复测采用导线边连接角和边长较差作为复测精度指标,按同精度复测考虑,导线复测连接角较差限差为测角中误差的 $2\sqrt{2}$ 倍,边长较差限差为测距中误差的 2 倍。

(2)根据京沪复测实践经验和复测精度统计,在 CP I、CP II 控制网自身内符合精度满足规范要求的情况下,CP I、CP II 控制网复测结果与原测结果较差统计结果分别见说明表 5.8.9—1、说明表 5.8.9—2。

说明表 5.8.9—1 京沪高速铁路精测网 CP I 复测较差统计结果

D_X		D_Y	
差值(mm)	比例(%)	差值(mm)	比例(%)
5	42.7	5	63.2
10	26.0	10	23.4
15	20.4	15	10.4
20	7.7	20	2.5
>20	3.2	>20	0.7
≤20	96.8	≤20	99.3

说明表 5.8.9—2 京沪高速铁路精测网 CP II 复测较差统计结果

D_X		D_Y	
差值(mm)	比例(%)	差值(mm)	比例(%)
5	71.21	5	69.61
10	23.17	10	23.97
15	4.51	15	4.71
>15	1.10	>15	0.70
≤15	98.90	≤15	99.30

根据上述统计,将二等 CP I、三等 CP II 复测限差要求分别定为 20 mm、15 mm,在此基础上适当调低三等及四等 CP I、四等及五等 CP II 复测限差要求,分别定为 25 mm、20 mm。

5.8.11 采用自由测站边角交会法复测 CP III 控制点时,CP III 复测坐标较差限差及相邻点坐标增量较差限差主要参考了高速铁路限差值,并结合不同铁路类型、不同轨道结构和不同速度目标值要求的轨道平顺度指标而制定。

5.8.12 CP III 高程较差限差和相邻点高差较差限差主要参考了高速铁路限差值,并结合不同铁路类型、不同轨道结构和不同速度目标值要求的轨道平顺度指标而制定。

5.8.13

1 施工单位接桩后的复测及施工期间不定期复测均为标段局部复测,当 CP I、CP II 和线路水准基点复测成果与原测成果较差满足限差要求时,应采用原测成果,目的是保持勘测控制网、施工控制网的基准统一。当较差超限时,应进行二次复测,查明原因,目的是确保复测的正确性和可靠性,并采用同精度内插方法更新成果。

2 CP III 建网前复测,作为平面控制基准和高程控制基准的 CP I 和线路水准基点复测成果与原测成果较差满足限差要求时,应采用原测成果,目的是保持线下工程与线上工程的基准统一。CP II 控制点全部采用复测成果,是考虑到经过长时间施工,点位难免发生变动或破坏,相对精度有所降低,在 CP I 控制点约束条件下采用复测更新成果,既保证了基准的统一,又提高了 CP II 控制点相对精度,有利于提高 CP III 控制网精度。当 CP II 控制点复测成果与原测成果较差超限时,应进行二次复测,查明原因,确保复测的正确性和可靠性,这是采用复测成果的前提。

3 长钢轨精调前复测,当 CP I、洞内 CP II、线上加密 CP II、

线路水准基点及线上加密水准点较差满足限差要求时,应采用原测成果,目的是保持轨道控制网(CPⅢ)基准的统一,减小精调工作量。考虑到加载后点位难免发生变动,CPⅢ控制点相对精度有所降低,CPⅢ控制点全部采用复测成果有利于提高长钢轨精调平顺性。当CPⅢ控制点复测成果与原测成果较差超限时,应进行二次复测,查明原因,确保复测的正确性和可靠性,这是采用复测成果的前提。

6.1.1 铁路工程建立了基础控制网CPⅠ、线路控制网CPⅡ和线路水准基点控制网,在隧道洞口附近布设有平面、高程控制点,但其点位密度还无法满足隧道施工控制测量要求,因此隧道施工时应进行施工控制测量。

隧道洞外平面控制测量优先采用GNSS方法测量。当隧道洞口位于峡谷、深沟等困难地段时,洞口控制点往往无法满足GNSS观测条件要求,此时可采用如下处理方式建立洞口控制网:

(1)可以只布设一条对空通视良好、精度高的GNSS定向联系边,用于向洞内传算洞外测量成果。但为满足施工测量需要,洞口不能少于3个平面控制点。在这种情况下,可以增设两个导线点,与卫星定位点定向联系边一起构成洞外施工控制网,卫星定位点与常规测量共同构网的方式则为条文中的组合测量方法。

(2)可在定向点附近再布设一个控制点(超短边),保证洞口不少于3个平面控制点,其环闭合差、方位、边长相对精度不作为控制网最弱边的评价指标,仅为满足施工进洞检查需要。该点单独编号,其名称与其余正常控制点相区别。

(3)可将洞口3个平面控制点移设到附近空旷的适用于布设卫星定位点处,以导线网或三角形网方式传递控制点进洞。在施工进洞时,洞门附近加密一个卫星定位点,纳入导线进行结点平

差,保障进洞导线的精度。

6.1.2、6.1.3 基础控制网 CP I、线路控制网 CP II 和水准基点网的精度是按铁路类型、设计时速、轨道类型确定的,而隧道施工控制网的精度是根据隧道贯通精度确定的,可能高于 CP I、CP II 网和水准基点网的精度,因此隧道施工时应根据隧道贯通长度、辅助坑洞布置、隧道宽度、线路曲线半径等因素,以线路控制网 CP I、CP II 和线路水准基点网为依据,以满足贯通精度、轨道铺设精度为目标,设计并建立相应的隧道施工平面、高程控制网。

6.1.4 本次修订维持 2009 版的隧道贯通误差限差。隧道贯通误差限差是按竣工贯通隧道的实际横向贯通误差统计数据,结合理论分析计算综合确定的。

(1) 隧道横向贯通误差统计数据

原规范横向贯通误差限差已经过多年工程实践应用,本次修订补充收集了近年 149 座实际贯通隧道的贯通误差资料,见说明表 6.1.4—1,统计了 10 km~20 km 的特长隧道 32 座,使原规范限差规定的合理性得到比较有力的支撑。从说明表 6.1.4—1 中可以看出,原规范规定的贯通误差限差合理、精度指标安全可行。

从说明表 6.1.4—1 中可以看出,新统计的近年已建成通车隧道,其横向贯通误差均满足现行规范要求,20 km 以下隧道采用原规范限差标准是恰当的。需要说明的是,统计的这些隧道大多增设有斜井、横洞或竖井,实际增加了作业面。8 km 以上的隧道真正相向开挖的不多,因而反映出实际贯通精度有所提高。

对相向开挖长度超过 20 km 的铁路隧道,规范因缺乏相应的贯通误差值参考,考虑很多特长隧道(如 32 km 的关角隧道)采取长隧短打方式进行,表 6.1.4 已经基本满足工程实践需要,没有给出相向开挖长度大于 20 km 隧道的贯通误差规定允许值。

说明表 6.1.4-1 隧道实际贯通误差统计表

相向开挖 隧道长度 (km)	$L < 4$	$4 \leq L < 7$	$7 \leq L < 10$	$10 \leq L < 13$	$13 \leq L < 16$	$16 \leq L < 19$	$19 \leq L < 20$
	50	65	80	100	125	160	180
洞内外综合 贯通中误差 (mm)	100	130	160	200	250	320	360
	49	43	25	16	8	8	0
贯通误差 分布	$\leq 1/2$ 限差	$\leq 1/2$ 限差	$\leq 1/2$ 限差	$\leq 1/2$ 限差	$\leq 1/2$ 限差	$\leq 1/2$ 限差	$\leq 1/2$ 限差
	$> 1/2$ 限差	$> 1/2$ 限差	$> 1/2$ 限差	$> 1/2$ 限差	$> 1/2$ 限差	$> 1/2$ 限差	$> 1/2$ 限差
	49座	43座	18座	14座	7座	8座	
占比例 (%)	100	100	72	87.5	87.5	100	
			28	12.5	12.5	0	
			0	0	0	0	

对于设有竖井并通过竖井进行贯通的隧道,本规范没有对此作出贯通误差规定,主要是因为铁路隧道很少采用竖井施工,能搜集到的有关实测精度资料极少,因此缺少这方面的分析资料。在表 6.1.4 下的注脚专门增加“本表不适用于利用竖井贯通的隧道”,宜进行专项的设计论证,以便引起测量单位的重视。

(2)隧道平面测量允许贯通误差确定理论推算说明

用生产统计数据验证理论计算结果的科学性,用理论计算指导生产的合理性,保持理论与实践的统一。

在目前的铁路测量控制模式下,隧道控制测量洞外采用 GNSS 测量方法,洞内采用传统导线测量方法。隧道测量贯通误差由洞外、洞内测量误差共同影响。

1)洞外(GNSS 测量)横向贯通中误差估算

GNSS 测量对贯通误差的影响值由起算点的坐标误差与起算边的方位误差引起的贯通误差构成。

①隧道洞外横向贯通误差影响值根据 GNSS 测量的洞口联系边测量精度及其定位点坐标精度,通过式(说明 6.1.4—1)求得:

$$M^2 = m_J^2 + m_C^2 + \left(\frac{L_J \sin \theta \times m_{\alpha_J}}{\rho} \right)^2 + \left(\frac{L_C \sin \varphi \times m_{\alpha_C}}{\rho} \right)^2 \quad (\text{说明 } 6.1.4-1)$$

式中 m_J, m_C ——进、出口 GNSS 控制点坐标误差在贯通面上的投影长度;

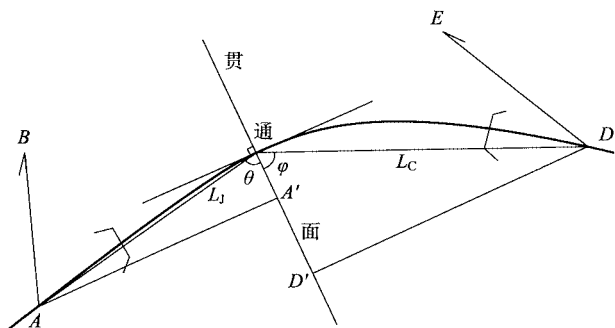
L_J, L_C ——进、出口 GNSS 控制点至贯通点的长度;

$m_{\alpha_J}, m_{\alpha_C}$ ——进、出口 GNSS 联系边的方位角中误差;

θ, φ ——进、出口控制点至贯通点连线与贯通点线路法线的夹角,见说明图 6.1.4—1。

按隧道相向开挖在隧道中部贯通,式(说明 6.1.4—1)中的后两项也可以由下式算得:

$$m_{\text{洞外定向}} = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{m_C}{\rho} \cdot L' \quad (\text{说明 } 6.1.4-2)$$



说明图 6.1.4—1 θ 和 φ 示意图

式中 $m_{\text{洞外定向}}$ ——GNSS 方向误差对贯通误差的影响；
 m_G ——GNSS 测量定向联系边方向误差(")，为隧道设计时的先验值；
 ρ ——常数，取值为 206 265"；
 L' ——相向开挖隧道计算长度(km)，考虑到洞外 GNSS 控制点位(引测边)布设离洞口有一定距离的因素，取隧道线路长度加 1 km，即 $L' = L + 1$ 。

②目前 GNSS 控制测量的相邻点间的相对点位误差为 10 mm。鉴于山岭隧道测量的复杂性和长大隧道距离远等因素，坐标误差的影响酌情取为 15 mm、20 mm。

通过对一个小型区域控制网的 10 个控制点 10 次周期性重复测量，计算的坐标中误差最大值 $m_x = \pm 5$ mm, $m_y = \pm 4$ mm, $m_{\text{点}} = \pm 6.4$ mm。

对 20 多个工点区域型控制网(特长隧道、特大桥、城市立交控制网)的统计表明，隧道控制点的点位中误差在 10 mm 以内。

对近年完成的贯通特长隧道，隧道控制的点位中误差在 8 mm 以内。点位精度统计情况见说明表 6.1.4—2。

说明表 6.1.4—2 贯通隧道控制网最大点位精度统计表

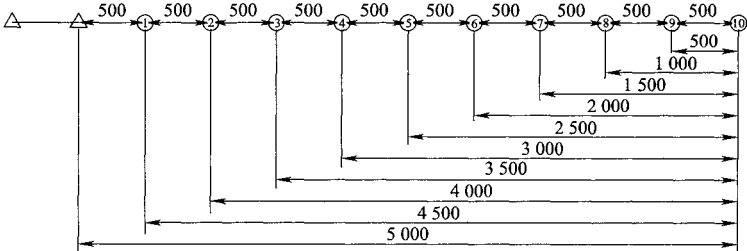
统计隧道序号	隧道长度(km)	点位中误差(m)
1	20.5	0.003
2	12.1	0.007
3	12.6	0.006
4	11.3	0.006
5	14.5	0.004
6	16.6	0.003
7	15.76	0.003
8	13.61	0.003
9	10.41	0.002
10	18	0.004
11	10	0.005

2)隧道的洞内导线测量误差

按隧道施工相向开挖在隧道中部贯通,从隧道进出口两端洞外控制点引测进洞,到贯通面贯通。洞内导线测量引起的贯通误差由测角与测距误差构成。

①洞内导线测角引起的贯通误差

一端洞内导线,按等边直伸导线估算的导线终点由测角引起的点位横向误差(说明图 6.1.4—2)按下式计算:



说明图 6.1.4—2 等边直伸导线误差(单位:m)

$$m_q^2 = \frac{m_B^2}{\rho^2} \sum R_x^2$$

$$= \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} s^2 \left[\frac{1}{6} n \cdot (n+1) \cdot (2n+1) \right]$$

$$= \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} \left[\frac{1}{6} L' \cdot (L'+s) \cdot \left(\frac{2L'}{s} + 1 \right) \right]$$

(说明 6.1.4—3)

式中 m_q ——直伸导线终点由测角误差引起的横向点位误差；

m_{β} ——测角误差(")；

ρ ——常数，取 206 265"；

R_x^2 ——导线点距离导线终点的距离；

s ——每条导线边距离；

n ——导线点数， $n = \frac{L'}{s}$ ；

L' ——导线总长度(隧道计算长度)。

隧道两端相向掘进，取等影响，则共同构成误差：

$$m_{\text{洞内测角}}^2 = 2m_q^2 \quad (\text{说明 6.1.4—4})$$

普速(200 km/h 及以下)铁路隧道可能设计为单线铁路，标准隧道宽度为 4.88 m，施工期间洞内存在气流、烟雾，测量视线长度受到限制，预计时洞内导线边长度尽量不超过 450 m，根据隧道长度设为 250 m~450 m(直线段)。

②洞内导线测边引起的贯通误差

这里取曲线起点横向偏离纵轴线 1.5 km(即曲线在贯通面上投影长度共 1.5 km)；按每条 150 m 长的导线边在横向(贯通面上)的投影 75 m 计，共计 20 条边；每条边按 2 mm+2 ppm 计算测距误差，则每条边的测距误差为 2.3 mm，测距误差两端总计：

$$m_1 = m_s \sqrt{n} \times \sqrt{2} = 2.3 \times \sqrt{20} \times \sqrt{2} = 15(\text{mm})$$

可见能控制在 20 mm 内，贯通误差估算时取 20 mm。

对于仅有 1 km~2 km 的隧道，取为 10 条边，则 $m_1 = m_s \sqrt{n} \times \sqrt{2} = 2.3 \times \sqrt{10} \times \sqrt{2} = 10.2(\text{mm})$ ，贯通误差估算时取 10 mm。

在上述条件下，不同隧道长度的洞外、洞内横向贯通中误差估算结果见说明表 6.1.4—3。

说明表 6.1.4—3 不同隧道长度的洞外、洞内横向贯通中误差

隧道长度 (km)	计算长度 (km)	洞内					洞外				误差分析			拟分配		
		洞内边长 (m)	洞内误差 (mm)	洞内取两组导线 (mm)	测距误差 (mm)	引起洞内误差 (mm)	定向方位精度 (")	方位误差 (mm)	坐标误差 (mm)	引起洞外误差 (mm)	总中误差 (mm)	99版允许误差 (mm)	洞外 (mm)	洞内 (mm)	总误差 (mm)	分配计算值 (mm)
≤1.0	2	4	250	37.6	38	10	39	3	21	15	25	46	50			
≤2.0	3	2.5	250	40.9	29	10	31	2	21	15	25	40	50	30	40	50
≤3.0	4	1.8	300	40.9	29	15	33	1.7	23	15	28	43	50			
≤4.0	5	1.8	400	49.8	35	20	41	1.7	29	15	33	52	50			
≤5.0	6	1.8	400	64.4	46	20	50	1.3	27	20	33	60	75			
≤6.0	7	1.3	400	57.8	41	20	46	1.3	31	20	37	59	75	40	50	64
≤7.0	8	1.3	400	70.0	49	20	53	1.3	36	20	41	67	75			
≤8.0	9	1.3	400	82.8	59	20	62	1.3	40	20	45	76	100			
≤9.0	10	1	400	74.2	52	20	56	1	34	20	40	69	100	45	65	79
≤10.0	11	1	400	85.1	60	20	63	1	38	20	43	76	100			
≤11.0	12	1	420	94.5	67	20	70	1	41	20	46	83	150			
≤12.0	13	1	420	106.1	75	20	78	1	45	20	49	92	150	55	80	97
≤13.0	14	1	450	114.5	81	20	83	1	48	20	52	98	150			

续说明表 6.1.4—3

隧道长度 (km)	计算长度 (km)	洞内				洞外				误差分析			拟分配				
		测角精度 (")	洞内边长 (m)	洞内误差 (mm)	洞内取两组导线 (mm)	测距误差 (mm)	引起洞内误差 (mm)	定向方位精度 (")	方位误差 (mm)	坐标误差 (mm)	引起洞外误差 (mm)	总中误差 (mm)	99版允许误差 (mm)	洞外 (mm)	洞内 (mm)	总误差 (mm)	分配计算值 (mm)
≤14.0	15	1	450	126.6	90	20	92	1	51	20	55	107	200				
≤15.0	16	1	450	139.1	98	20	100	1	55	20	58	116	200	65	105	125	123
≤16.0	17	1	450	152.0	108	20	109	1	58	20	62	126	200				
≤17.0	18	1	450	165.3	117	20	119	1	62	20	65	135	250				
≤18.0	19	1	450	178.9	127	20	128	1	65	20	68	145	250	75	135	160	154
≤19.0	20	1	450	192.9	136	20	138	1	69	20	71	155	250				
≤20.0	21	1	450	207.2	147	20	148	1	72	20	75	166	250	80	160	180	179

说明表 6.1.4—3 中,将计算的贯通值取整为 5 mm 的整数。按贯通中误差大致相近,将 0 km~20 km 长的隧道分为 7 个区段,每个区段取该区段内相应洞外、洞内贯通中误差影响最大值作为该区段洞外、洞内允许横向贯通中误差,以此反算总的横向贯通中误差并取整至 5 mm,得到条文规定的隧道贯通中误差允许值。

此计算表考虑了工程通常条件下的相关因素,计算参数考虑有一定安全系数。因此,在一般情况下,只要符合上述计算条件的隧道工程,可以直接按表 6.1.4 中参数选择测量精度参数进行测量;否则,应针对隧道的具体情况进行测量设计。

(3) 高程贯通误差限差指标的合理性分析

高程贯通误差限差 50 mm(高程贯通误差中误差 25 mm)是根据铁路隧道控制测量多年实际贯通误差统计资料确定的。99 版测规统计数据源于《铁路测量技术规则》第三章“隧道测量”,是通过对过去施工的隧道实际贯通误差的统计得出的,其统计结果见说明表 6.1.4—4。

说明表 6.1.4—4 99 版测规统计的隧道高程贯通情况

实际贯通误差(mm)	0~10	11~20	21~25	26~40	41~50	>50	总和
数量(座)	35	29	11	11	2	4	92
比例(%)	38	31	12	12	2.2	4.3	100
分类统计	<1/2 限差		1/2 限差~限差		>限差		
范围	<25 mm		25 mm~50 mm		>50 mm		
座数(座)	75		13		4		92
比例(%)	82		14		4		100

考虑到以前 8 km 以上长隧道不多,高程贯通误差的适应性难于判断。从实际贯通误差统计情况来看,高程测量方式一直没有改变,本次修订增加了新的 136 座隧道高程贯通误差统计,即使对于 20 km 以上的 3 座特长隧道(最长为 32 km 的关角隧道),其高程贯通误差也均在限差要求(50 mm)以内,证明原规范的高程贯通误差限差指标是合理的。统计详细情况见说明表 6.1.4—5、说明表 6.1.4—6。

说明表 6.1.4—5 新增的隧道高程贯通误差统计

相向开挖 隧道长度 (km)	$L < 4$		$4 \leq L < 7$		$7 \leq L < 10$		$10 \leq L < 13$		$13 \leq L < 16$		$16 \leq L < 19$		$19 \leq L < 32$	
	49	39	22	10	8	5	3							
隧道座数	49	39	22	10	8	5	3							
分类统计	$< 1/2$ 限差	$< 1/2$ 限差	$< 1/2$ 限差	$< 1/2$ 限差	$< 1/2$ 限差	$< 1/2$ 限差	$< 1/2$ 限差	$< 1/2$ 限差	$< 1/2$ 限差	$< 1/2$ 限差	$< 1/2$ 限差	$< 1/2$ 限差	$< 1/2$ 限差	$< 1/2$ 限差
	$1/2$ 限差~ 限差	$1/2$ 限差~ 限差	$1/2$ 限差~ 限差	$1/2$ 限差~ 限差	$1/2$ 限差~ 限差	$1/2$ 限差~ 限差	$1/2$ 限差~ 限差	$1/2$ 限差~ 限差	$1/2$ 限差~ 限差	$1/2$ 限差~ 限差	$1/2$ 限差~ 限差	$1/2$ 限差~ 限差	$1/2$ 限差~ 限差	$1/2$ 限差~ 限差
贯通误差 范围 (mm)	$25 \sim$ 50	$25 \sim$ 50	$25 \sim$ 50	$25 \sim$ 50	$25 \sim$ 50	$25 \sim$ 50	$25 \sim$ 50	$25 \sim$ 50	$25 \sim$ 50	$25 \sim$ 50	$25 \sim$ 50	$25 \sim$ 50	$25 \sim$ 50	$25 \sim$ 50
	> 50	> 50	> 50	> 50	> 50	> 50	> 50	> 50	> 50	> 50	> 50	> 50	> 50	> 50
数量(座)	46	32	18	7	6	4	3	3	2	0	1	0	0	0
占比例 (%)	94	82	82	70	75	25	0	80	20	0	100	0	0	0

说明表 6.1.4—6 新增的隧道高程贯通误差综合统计

隧道座数	136			
分类统计	<1/2 限差	1/2 限差~限差	>限差	累计
范围(mm)	<25	25~50	>50	
数量(座)	116	20	0	136
占比例(%)	85	15	0	100

(4) 高程贯通误差限差的分析

隧道高程贯通误差由洞内、洞外水准测量共同影响产生,贯通误差大小与测量精度、水准路线长度相关。洞外、洞内高程控制测量误差产生的高程贯通中误差,按下式计算:

$$m_{\Delta h} = M_{\Delta} \sqrt{L} \quad (\text{说明 } 6.1.4-5)$$

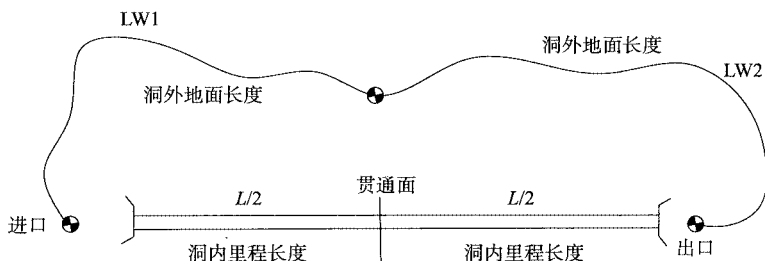
洞外、洞内高程控制测量误差对每个贯通面的高程贯通误差影响按等因素影响考虑,各取 $m_{\Delta h} = \pm 25/\sqrt{2} = \pm 17.7$ mm,适当取整,得洞外高程贯通误差中误差 $m_{\Delta h\text{外}} = \pm 18$ mm,洞内高程贯通误差中误差 $m_{\Delta h\text{内}} = \pm 17$ mm。洞外高程控制测量虽有地形起伏大、路线长、置镜多、受外界影响大等不利因素,但也具有通视条件好、明亮度高、测量仪器可灵活选择、受施工影响较小等有利因素;洞内高程控制测量虽然起伏小、气温稳定,但洞内观测存在明亮度低、使用仪器受限制、施工干扰大等不利因素。因此,将洞外、洞内高程控制测量误差对每个贯通面上的贯通误差按等因素影响考虑是符合施测情况的。统计 100 多座隧道的实测高程贯通误差成果表明,这样的分配也是合理可行的。

由于洞内外水准测量路线长度悬殊,为满足高程贯通精度要求,过去洞外、洞内高程测量采用了不同的精度等级。

如说明图 6.1.4—3 所示,设隧道(洞内水准)长度为 L ,水准测量精度为 $m_{\Delta\text{内}}$,洞外水准路线长度为隧道长度的 k 倍,即 kL ,水准测量精度为 $m_{\Delta\text{外}}$ 。按前述等因素影响考虑,洞内、洞外水准测量的误差均为 $25/\sqrt{2}$ mm,则洞内、洞外水准测量误差为

$$m_{\Delta外} \times \sqrt{kL} = \frac{25 \text{ mm}}{\sqrt{2}} = m_{\Delta内} \times \sqrt{L} \quad (\text{说明 } 6.1.4-6)$$

$$m_{\Delta外} = m_{\Delta内} / \sqrt{k} \quad (\text{说明 } 6.1.4-7)$$



说明图 6.1.4—3 隧道洞内外水准闭合环示意图

根据统计数据,隧道洞外水准路线长度大约是隧道(洞内水准)长度的 1.5~5 倍,据此计算洞内外水准测量精度,见说明表 6.1.4—7。

说明表 6.1.4—7 洞内外水准测量精度关系

洞内水准等级	测量精度 (mm/km)	适用隧道长度 (km)	洞外水准精度 (mm/km)	
			$k=3$	$k=5$
五等	7.5	<5.6	4.3	3.4
四等	5	<12.5	2.9	2.2
三等	3	<34.7	1.7	1.3
精密	2	<78.1	1.2	0.9
二等	1	<312.5	0.6	0.4

由说明表 6.1.4—7 可见,洞外水准测量精度需要比洞内水准测量精度提高 1~2 个等级。

目前铁路工程单位已普遍采用数学水准仪进行高程控制测量,作业效率和质量比过去有较大提高。二等水准和精密水准的作业方式基本相同,洞内水准测量精度提高到洞外水准测量的精

度,不会增加过多外业工作量。另一方面,洞内、洞外水准测量采用相同精度,还利于后续水准闭合后的同精度内插。

铁路工程隧道铺设轨道是依据轨道控制网 CPⅢ 进行,CPⅢ 控制网高程测量附和到洞内水准基点上,隧道洞内水准基点网附和到洞口两端洞外的水准基点上,高差闭合差满足限差要求后进行同精度内插、约束平差处理。

如果隧道高程测量只考虑贯通限差 50 mm 进行精度等级设计,即使隧道贯通误差满足限差要求,却可能无法满足环闭合差限差要求,这时再按轨道铺设要求进行高程贯通测量,则又会造成与施工期间施测的高程差异而再次进行误差调整,甚至影响隧道净空,影响轨道铺设前 CPⅢ 建网。因此,在隧道施工期间就应该考虑轨道控制网 CPⅢ 的精度要求,按照环闭合差要求进行高程控制网的设计。

隧道高程控制网是一个局部独立控制网,隧道洞外水准路线绕行,与洞内水准测量路线串联,在贯通面上形成一个闭合环(说明图 6.1.4—3);以隧道洞内路线测量的直接高差(洞内高差不经水准面不平行性改正)贯通进出口,闭合差不受起算点误差的影响。洞外、洞内水准闭合环产生的高差环闭合差相当于隧道高程贯通误差,应小于极限贯通误差(50 mm)。

根据规范,水准环(或附和路线)闭合差限差是按水准测量全中误差(考虑系统误差取 2 倍偶然中误差)的 2 倍计算得到,即 $4m_{\Delta} \sqrt{L}$ 。

设隧道长度为 $D(\text{km})$,即洞内水准路线长度;洞外水准路线长度为隧道长度的 k 倍,即 kD ;洞内外水准路线总长为 $L=(k+1)D$;设洞内、洞外水准测量采用相同等级,测量精度(高差偶然中误差)为 $m_{\Delta}(\text{mm}/\text{km})$,取洞内、洞外闭合环闭合差限差小于贯通极限误差 50 mm,则

$$\Delta_{\text{环限差}} = 4m_{\Delta} \sqrt{L} = 4m_{\Delta} \sqrt{D+kD} < \Delta_{\text{贯通误差}} = 50 \text{ mm}$$

(说明 6.1.4—8)

于是得到 $L < \left(\frac{12.5}{m_{\Delta}}\right)^2$ 及 $D < \left(\frac{12.5}{m_{\Delta}}\right)^2 / (1+k)$ 。

这样,由满足环闭合差限差要求的贯通精度实际上提高了一半,高程贯通中误差成为 $25/2=12.5$ mm 了,远小于 2009 版规范中洞内、洞外高程贯通中误差 17.7 mm。因此,满足洞内外高差环闭合差限差要求,就必定满足隧道贯通误差限差要求。

6.1.5

1 普速铁路平面基础控制网 CP I 密度为 4 km 一对或 2 km 一个,最低等级为四等(基线边方位精度 $2.0''$);线路控制网 CP II 密度为 400 m~800 m 一个,GNSS 最低等级为五等(基线边方位精度 $3.0''$)。根据说明表 6.1.4—3 可知,1 km 以上隧道洞外联系边方位需要 $2.0''$ 精度,2 km 以上隧道洞外联系边方位需要 $1.7''$ 精度。但线路控制网 CP I、CP II 的精度可能不够,需要根据隧道长度等因素进行测量控制网设计。

隧道长度 2 km 以上时洞内导线测量精度需要 $2.5''$,也应该根据隧道长度、宽度、曲线半径和贯通面位置进行控制测量设计。

2 按洞外洞内水准路线长度比计算的各等级水准适用隧道长度见说明表 6.1.5。

说明表 6.1.5 环闭合差法按洞内外相同测量精度计算的水准路线长度

等级	高差偶然中误差 (mm/km)	洞外洞内水准路线总长度 (km)	洞外洞内长度比 $k=3$			洞外洞内长度比 $k=5$		
			隧道长度 (km)	洞内贯通误差 (mm)	洞外贯通误差 (mm)	隧道长度 (km)	洞内贯通误差 (mm)	洞外贯通误差 (mm)
二等	1	<156.3	<39.1	6.3	10.8	<26.0	5.1	11.4
精密	2	<39.1	<9.8	6.3	10.8	<6.5	5.1	11.4
三等	3	<17.4	<4.3	6.3	10.8	<2.9	5.1	11.4
四等	5	<6.3	<1.6	6.3	10.8	<1.0	5.1	11.4

可见洞外、洞内水准路线总长度超过 6.3 km 时,采用四等水准测量精度已不能满足水准环闭合差要求了,此时隧道长度仅 1.0 km~1.6 km 左右。

在本规范中,线路定测的高程控制网精度等级最低为四等,从说明表 6.1.5 中可以看出,其允许长度为 6.3 km,因此规定“洞内外水准路线总长度大于 6 km 时,应根据洞内、洞外水准闭合环产生的高差环闭合差进行高程控制网设计”;在铁路测量中,采用的最高精度等级为二等水准,其允许长度为 156 km,因此规定“当洞内外水准路线超过 150 km 时,应对水准测量精度进行专项设计”。

6.1.6 隧道平面、高程控制网应以线路控制网和线路水准基点网为基础建立。

(1)隧道施工平面控制网的扩展加密说明

当线路控制网点位密度、精度不能满足隧道洞外控制测量贯通要求时,应建立隧道施工独立控制网,独立控制网的精度根据隧道长度及相应的贯通误差要求确定。建立独立控制网时,应联测隧道洞口两端的线路控制点。选择隧道两端兼容性较好的各 1 个线路控制点为基础,约束隧道控制网,这样可保持与线路控制网在位置、尺度和方向基准上较好符合,保证与隧道两端的控制网平顺衔接,同时也能满足隧道控制的精度需要。

(2)高程控制测量说明

隧道进、出口间的高差应经贯通水准测量构成附合路线,洞内路线测量的直接高差与线路水准基点构成的高差闭合差满足要求且绝对值小于 50 mm 时,采用约束平差,可以避免隧道贯通后出现断高。反之,核实确认直接高差可靠时,可采用独立高程,以进口定测高程为起算数据,用直接高差推算出口高程,将在出口水准点上的高程差值设置为断高。

6.1.7 沿隧道两端洞口连线布设控制网可以使所布控制网长度为最短,当平均边长一定时,设站最少,外业工作量最小,同时对减

小横向贯通误差也是有利的。要求将进、出口控制点以直接观测边连接,不相邻辅助坑道口的控制点也宜互相连接是为了减少 GNSS 的传递误差,构成长边控制网,提高控制网图形强度。

6.1.8 洞口平面控制点、高程控制点是洞内导线测量和高程测量的起算点,又是洞口及其附近地段施工的直接依据。这些点将被长期使用至隧道贯通。使用中,这些点可能发生平面和高程位移,所以必须进行检测。平面控制点通常用测角、测边检核,高程一般检测两点间的高差。因此,2009 版规范规定洞口子网不少于 3 个平面控制点和 2 个水准点。实际作业中,建议增加一个远离洞口的控制点(无需通视),主要用于洞口控制复测的稳定性检查及点位破坏后恢复控制点使用。

检测 3 个平面控制点和 2 个水准点难以证明某些控制点移动时,必须增加控制点,才能使检测结果可靠。因此,本次修订规定洞口平面和高程控制点均不应少于 3 个,且彼此间有一定距离。

不论洞外控制网是 GNSS 网、三角形网还是导线环,一座隧道不需要分几个等级层次,采用全网同精度观测,整体平差,使全网精度均匀,可以避免分级平差时上一级网给下一级网带来的起始数据误差影响,也可避免因误差的不均匀分布降低插网精度而影响隧道贯通。现在通常做法是,洞外控制网洞口布设三角形或大地四边形,布网后临时放设洞门并指导施工,当洞内有条件布设导线网时,直接从洞外控制网向洞内引测导线,不再设置洞口插网,但可在洞门附近适宜位置设 GNSS 点进洞。

隧道施工控制网进洞联系边应选择两端尽可能等高的长边控制点,其主要目的是消除垂线偏差对隧道贯通误差的影响。

在施工独立坐标系建立时,需要假定坐标原点和 X 轴向点的海拔高程信息作为工程椭球的建立依据,需要进行水准联测,获取高程异常值与大地高进行换算。

6.2、6.3

隧道勘测阶段的有关测量工作,以满足相关设计专业要求为

原则,采集符合设计要求的成果资料。

6.4.2 在隧道施工中,常用的几种施工平面控制网坐标系建立方法及主要优缺点如下:

(1)以进、出口端的线路控制点为约束基准的线路坐标系

1)以进、出口端各 1 个线路控制点(CP I、CP II)为约束基准的坐标系,选择与原测 CP I、CP II 符合程度最好的 2 点作为基准,其余 CP I、CP II 点采用新值。不改变控制点间角度相对关系。不产生断链,使用比较方便。缺陷是将控制点的长度变化引入控制网成果,部分改变控制点间的相对关系。

2)全约束加密网方式。以进、出口端的全部线路控制点(CP I、CP II)为约束基准,可以保证与全线线路控制网协调一致,不需要对设计理论中线实施转换。

线路精测网 CP I、CP II 坐标系存在长度投影残余变形,采用线路控制点全约束方式,将 CP I、CP II 发生的隐形变化直接引入施工平面控制网中,加密网成果可能扭曲 CP I、CP II 与新设控制点间的相对关系,不能完全匹配一致,加密网成果没有真实反映控制点间的相对关系,不利于有效保证隧道贯通。

线路坐标系下的两种方式比较起来,以进、出口端各 1 个线路控制点的约束基准为佳。

(2)固定一点一方向的独立坐标系

原点和轴向点选择灵活,以进出口点位稳定、可长久保存、联测水准高程方便的点作为原点,进口端假定数据及轴向采用勘测基准。需要对设计理论中线实施转换。

(3)中线轴线法施工独立坐标系

长大隧道洞身一般为长直线,采用中线轴线法时,施工独立坐标系的建立以隧道长直线为 X 轴,里程增加方向为 X 轴正方向,X 坐标即为相应的线路里程;曲线隧道当隧道内夹直线较长时,宜

以夹直线为 X 轴;隧道主要在曲线上时,可选取其中的一条切线为 X 轴。位于 X 轴上的直线段的中线坐标可以直观地反映施工的里程及偏离中线的距离。该独立控制网必须与线路控制网建立联测关系,需要对设计理论中线实施转换,将线路中线转换到独立坐标系。

中线轴线法施工独立坐标系在实地中线上设置洞口投点,保证线位与线路控制网放样位置一致,测量时将实地中线(洞口投点)纳入控制网,利用实测中线的相对关系,修正设计理论中线,施工中以实地中线作为施工理论中线,保证中线与控制点相对关系的一致性,施工时不存在中线位置的放样误差,使进出口的施工方向在同一条直线方向上,有利于保证隧道准确贯通。

几种坐标系下的施工平面控制网比较起来,前面 2 种方式易于实施,而中线轴线法施工独立坐标系建立比较繁琐。

6.4.3 对于隧道平面控制测量,已根据一般条件(如相向开挖在隧道中部贯通,在贯通面上有 1.5 km 投影长度的曲线等,详见条文说明 6.1.4)进行了如表 6.4.3—1 的通用设计,非特殊情况下,可以按表 6.4.3—1 选择 GNSS 定向边长度、导线边长度和测量等级进行施测。

隧道洞外平面控制网,进洞联系边的边长相对精度不影响贯通误差,应重点关注洞口定向边的方位精度。GNSS 测量系统是自带方位基准的系统,测量的 GNSS 方位精度除与观测条件、基线解算有关外,施测时仪器对中误差也是重要影响因素。一般要求对中误差小于 1 mm,等级越高,距离越短,对中精度要求越严。根据 27 个项目 593 条 GNSS 基线边独立重复观测资料统计方位较差,150 m~800 m 长度 GNSS 方位精度估算大致可用公式: $0.3'' + 2.5''/S_{100}$ (S_{100} 为定向边长度,以百米为单位,如 400 m 边长的方位精度估算为 0.9'')。实践表明,隧道洞口网只要保证对空观测条件良好、基线边长

度 400 m 以上、对中误差小于 1 mm,GNSS 方位精度是可以达到 $1.0''$ 的。

各等级 GNSS 定向边精度、边长相对中误差与规范通用等级保持一致;但考虑到隧道洞口定向边长度限制,地形限制可能较短,为方便全站仪观测又不能太长,一般在 300 m~600 m 为宜,一等 GNSS 网定向边精度为 $1.0''$,500 m 以下的基线边边长中误差小于 5 mm。

隧道洞口联系边的方位精度必须满足表 6.4.3—1 中相应等级的要求,无法满足要求时需要采用强制对中方式保证方位精度。或将控制点移设到附近空旷地段布设,以三角形网或导线网方式联测进洞。

考虑到 GNSS 测量已经普及,铁路隧道已经在隧道进出口采用 GNSS 技术建立 CP I、CP II 控制网,隧道控制测量不再采用越岭导线方式建立。导线测量多数应用于困难地形的洞口加密控制网、极少数特殊情况采用导线控制的短隧道(短于 4 km 的隧道);GNSS、导线测量精度与边长相关,本次规定了定向边及洞内导线的长度。

勘测阶段建立 CP I、CP II 控制网一般采用 GNSS 方式,CP I 按 4 km 左右布设一对或 2 km 一个,CP II 按 400 m~800 m 左右设置一点。对 4 km~6 km 的隧道,一般在隧道口布设有 CP I 点对或 CP I + CP II 单点,能够保证进、出口各有 2 个控制点;对 1.5 km~4 km 的隧道,隧道进、出口能够保证各有 2 个 CP II 控制点,可以在此 CP I、CP II 控制网基础上进行增补加密;当隧道设有斜井时,一般采用 GNSS 直接加密,基本不采用越岭导线方式建立施工控制网。为保证测量方式的完整性,本次修订为保持规范的完整性,仍然列出洞外采用越岭导线、三角形网方式建立施工控制网的要求。对于短隧道的洞内控制测量,由于要求的测量精度不高,因此设置了测角精度为 $\pm 4''$ 的一级导线测量。

洞内导线控制测量中测角中误差为 $1.3''$ 的测量精度等级,条文中称其为“隧道二等”,用于洞内导线测量(包括施工期间洞内控制测量和贯通后的隧道 CP II 导线控制测量)。长度为 $5\text{ km} \sim 8\text{ km}$ 的隧道,根据贯通误差估算的洞内导线测角精度一般介于二等与三等之间,而国家没有这一精度指标。基于既保证贯通精度需要又经济合理的原则,增加了这一精度等级。

高程控制测量根据说明表 6.1.5 各等级水准测量适用的水准路线总长度,结合表 4.7.4 的要求,综合得到表 6.4.3—2。满足水准闭合环闭合差限差要求,则必然满足隧道高程贯通限差的要求。相较 2009 版规范,提高了水准测量精度等级,适应了当前铁路工程测量模式和轨道铺设要求。

由于隧道洞外绕行路线长度不定,根据隧道长度无法确定水准闭合环长度,因此采用隧道洞外、洞内水准路线总长度来进行测量设计。

洞内、洞外采用相同高程测量精度等级,一方面为避免洞内不同精度施测的高程差异引起二次调整高程误差,另一方面为便于洞内高程控制网进行同精度内插。

非特殊情况下(洞外洞内水准路线总长超过 150 km 或其他特殊要求等),根据表 6.4.3—2 选择水准测量等级进行施测,可不再进行高程测量设计。

6.4.4 在建立隧道平面控制网时,以进洞联系边为目标、兼顾洞口网检测需要布设网形。隧道洞口地形狭窄时,定向边的可选方案不多。在地形条件开阔地区,可能存在进洞边的多个方案,这时可以根据洞外控制网平差后的协方差,计算洞外控制网引起的贯通误差,选择一种最优方案进洞。

进行隧道测量设计时,当一座隧道由同一测量单位负责洞外、洞内平面控制测量时,测量单位可以统筹兼顾洞外洞内的测量设计,统一分配洞外洞内贯通误差影响值,合理确定洞内、洞外的测量精度。因此,当由一家测量单位完成洞内外控制测

量时,洞内平面控制测量误差对横向贯通误差的影响值可按下列步骤确定:洞外平面控制测量完成后,在总的横向贯通中误差内扣除洞外平面控制测量误差对横向贯通误差的影响值,即可得到留给洞内平面控制测量误差对横向贯通误差的影响,确定洞内控制网的测量精度。

6.4.5 设计速度 200 km/h 以下的铁路隧道,有些大于 1 km 的隧道,道床形式也采用无砟轨道,轨道铺设的高程精度要求为二等~三等,与土建工程精度等级不匹配。此时,应兼顾轨道铺设需求。根据隧道洞外、洞内水准路线长度和轨道铺设精度进行洞外、洞内高程控制网设计,确定洞外高程控制测量的等级。

隧道施工高程控制网的高程系统在高差闭合差符合要求时,应采用线路高程系统,隧道高程控制网应将隧道洞口附近的线路水准基点纳入,并作为起算点,以保证与线路高程的平顺衔接。

目前,特长隧道一般采用无砟轨道,轨道铺设高程精度要求均在三等水准以上,铁路测量洞外线路水准均在四等以上,隧道洞外绕行路线和洞内路线测量水准闭合差一般较小,闭合差在限差以内时,以线路水准为约束基准进行平差计算,不设断高,不会引起施工高差与精测高差有较大差异,可极大方便施工使用。

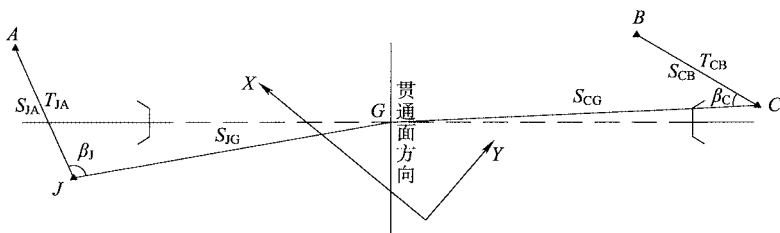
反之,当隧道洞内路线测量的直接水准高差(不加水准面不平行性改正)的闭合差与线路定测水准闭合差超限,此时,在确认直接水准高差正确后,应采用独立高程系,利用进口一个线路定测水准点的高程作为起始高程,用直接水准高差推算各控制点高程,在出口与线路定测水准点的高程较差设为断高,使精测水准高差与施工水准高差保持一致,以保障隧道高程准确贯通。已经贯通的一些隧道高差闭合差与采用高程系统统计见说明表 6.4.5。

说明表 6.4.5 隧道高差闭合差与采用高程系统统计表

序号	工程状态	隧道长度 (km)	出口水准点	路线长度 (km)	高差闭合差 (m)	限差 (m)	评价	采用高程系统	备注
1	竣工贯通	12.1	CP I 166	31.8	-0.020	0.023	不符合	独立高程系	定测含不平行性改正
2		12.6	CP I 117	21.0	-0.030	0.018	符合		
3		11.3	CP I 170	47.8	-0.031	0.028	不符合		
4		14.5	CP I 115	21.3	-0.026	0.018	不符合		
5		16.6	CP I 101	25.2	-0.030	0.020	不符合		
6		15.7	CP I 057	25.6	-0.037	0.020	不符合		
7		13.6	CP I 052	32.4	-0.035	0.023	不符合		
8		10.4	CP I 033	32.1	0.017	0.023	符合	独立高程系	
9		10	RYC2	19.5	0.002	0.017	符合	线路高程系	
10		12.5	BM201	34.8	-0.006	0.024	符合	线路高程系	约束平差
11		8.4	BM203	20.3	0.006	0.018	符合	线路高程系	
12		19.0	CP I 088	27.3	-0.043	0.021	不符合	独立高程系	定测含不平行性改正
13		15.9	BM216	40.7	-0.021	0.026	符合	线路高程系	约束平差
14		14.8	XCBM05Z	59.4	0.019	0.031	符合	线路高程系	
15		13.1	BM220	58.3	0.016	0.031	符合	独立高程系	
16		9.2	CP I 051	29.9	0.002	0.022	符合	独立高程系	
17		14.1	XCBM08Z	32.1	-0.021	0.023	符合	独立高程系	
18		15.1	XCBM07Z	75.3	0.004	0.035	符合	独立高程系	

6.4.6 无论隧道控制测量采用何种方法,隧道洞外控制测量的成果一般为隧道进口、出口附近控制点的坐标。这些点的坐标精度及其相对精度在一定程度上集中体现了测量方法的影响和控制网的成果质量。假设在任意两相向洞口有 J、C、A、B 四个控制点,它们分别表示洞口控制点和进、出口附近的定向点,G 为隧道贯通

点,如说明图 6.4.6 所示。



说明图 6.4.6 隧道贯通误差估算示意图

从说明图 6.4.6 中可以看出,贯通点 G 点的横向贯通误差是由 J、C、A、B 四个控制点的误差引起的。测量前,可按条文第 1 款近似方法估算,测量后按条文第 2 款严密公式估算。

在不考虑洞口投点误差及洞内导线测量误差时,由平差理论,按求未知数的函数权倒数方法,可以得到贯通点分别由进出口计算的纵横坐标差关系式为

$$\begin{aligned} \Delta X_G &= X_J + S_{JG} \cos(T_{JA} + \beta_J) - X_C - S_{CG} \cos(T_{CB} - \beta_C) \\ \Delta Y_G &= Y_J + S_{JG} \sin(T_{JA} + \beta_J) - Y_C - S_{CG} \sin(T_{CB} - \beta_C) \end{aligned} \quad (\text{说明 } 6.4.6-1)$$

在不考虑 S_{JG} 、 S_{CG} 、 β_J 、 β_C 的误差时,对式(说明 6.4.6—1)微分并整理得到关于 ΔX_G 、 ΔY_G 的权函数式为

$$\begin{aligned} d(\Delta X_G) &= (1 - a_{JA} \Delta Y_{JG}) dX_J + b_{JA} \Delta Y_{JG} dY_J + a_{JA} \Delta Y_{JG} dX_A - b_{JA} \Delta Y_{JG} dY_A - \\ & (1 - a_{CB} \Delta Y_{CG}) dX_C - b_{CB} \Delta Y_{CG} dY_C - a_{CB} \Delta Y_{CG} dX_B + b_{CB} \Delta Y_{CG} dY_B \\ d(\Delta Y_G) &= (1 - b_{JA} \Delta X_{JG}) dY_J + a_{JA} \Delta X_{JG} dX_J - a_{JA} \Delta X_{JG} dX_A + b_{JA} \Delta X_{JG} dY_A - \\ & (1 - b_{CB} \Delta X_{CG}) dY_C - a_{CB} \Delta X_{CG} dX_C + a_{CB} \Delta X_{CG} dX_B - b_{CB} \Delta X_{CG} dY_B \end{aligned} \quad (\text{说明 } 6.4.6-2)$$

式(说明 6.4.6—2)写成矩阵形式,再按协因素传播律得

$$\begin{bmatrix} \sigma_{\Delta X_G} & \sigma_{\Delta X_G \Delta Y_G} \\ -\sigma_{\Delta Y_G \Delta X_G} & \sigma_{\Delta Y_G} \end{bmatrix} = \sigma_0^2 f Q_z f^T = f D_z f^T$$

(说明 6.4.6—3)

$$f = \begin{bmatrix} 1-a_{11}\Delta Y_E & b_{11}\Delta Y_E & a_{11}\Delta Y_G-1 & -b_{11}\Delta Y_G & a_{11}\Delta Y_E & -b_{11}\Delta Y_E & -a_{11}\Delta Y_G & b_{11}\Delta Y_G \\ a_{11}\Delta X_E & 1-b_{11}\Delta X_E & -a_{11}\Delta X_G & b_{11}\Delta X_G-1 & -a_{11}\Delta X_E & b_{11}\Delta X_E & a_{11}\Delta X_G & -b_{11}\Delta X_G \end{bmatrix}$$

(说明 6.4.6—4)

$$Z = [dX_J \quad dY_J \quad dX_C \quad dY_C \quad dX_A \quad dY_A \quad dX_B \quad dY_B]^T$$

(说明 6.4.6—5)

Z 的协因数阵 Q_Z 由地面控制网估算所得的未知数的协因数阵中取得。由上式可以绘出贯通误差的误差椭圆。

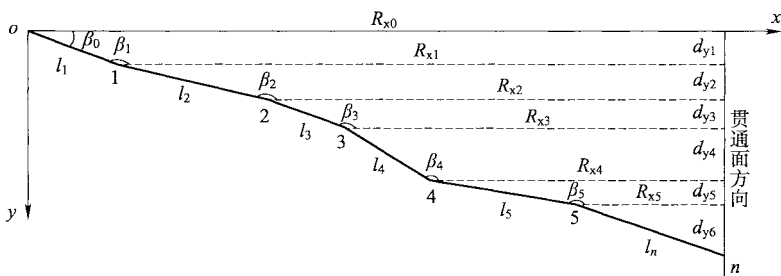
对于直线隧道,当隧道轴线为 X 轴时,则 $\sigma_{\Delta X_G}$ 为纵向贯通误差的影响值, $\sigma_{\Delta Y_G}$ 为横向贯通误差的影响值。

对于曲线隧道,可以根据线路关系计算出贯通点在控制网坐标系统中的坐标 (X_G, Y_G) 以及该点的切线方位角(贯通点的纵向方位角) α_G 和横向方位角 $\alpha_F = \alpha_G + 90^\circ$, 因此隧道横向贯通误差为

$$M^2 = \sigma_{\Delta X}^2 \cos^2 \alpha_F + \sigma_{\Delta Y}^2 \sin^2 \alpha_F + \sigma_{\Delta X \Delta Y} \sin 2\alpha_F$$

(说明 6.4.6—6)

6.4.7 导线测量误差影响产生在贯通面上的横向中误差计算方法如说明图 6.4.7 所示。



说明图 6.4.7 导线测量在贯通面引起的贯通误差计算示意图

假设导线由洞口投点 o 开始引测至贯通面,则贯通面上 n 点的横坐标为

$$y_n = \sum l_i \sin A_i = \sum \Delta y_i \quad (\text{说明 6.4.7—1})$$

微分并整理式(说明 6. 4. 7—1)得到

$$d_{y_n} = d_{y_1} \frac{d_{l_1}}{l_1} + d_{y_2} \frac{d_{l_2}}{l_2} + \cdots + d_{y_n} \frac{d_{l_n}}{l_n} + (R_{x_0} d_{\beta_0} + R_{x_1} d_{\beta_1} + \cdots + R_{x_n} d_{\beta_n})$$

(说明 6. 4. 7—2)

$l_1, l_2, \cdots, l_n, \beta_1, \beta_2, \cdots, \beta_n$ 均系导线边距离、角度独立观测值, 若以 $\frac{m_l}{l}$ 表示测边精度, $\frac{m_\beta}{\rho}$ 表示测角精度, 并将式(说明 6. 4. 7—2)转换成中误差形式:

$$M^2 = d_{y_1}^2 \left(\frac{m_l}{l}\right)^2 + d_{y_2}^2 \left(\frac{m_l}{l}\right)^2 + \cdots + d_{y_n}^2 \left(\frac{m_l}{l}\right)^2 + R_{x_1}^2 \left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2 + R_{x_2}^2 \left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2 + \cdots + R_{x_n}^2 \left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2$$

(说明 6. 4. 7—3)

$$\text{令 } m_{y_l}^2 = \left(\frac{m_l}{l}\right)^2 \sum d_y^2, m_{y_\beta}^2 = \left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2 \sum R_x^2$$

$$\text{则 } M^2 = m_{y_l}^2 + m_{y_\beta}^2 \quad (\text{说明 6. 4. 7—4})$$

式(说明 6. 4. 7—4)即为隧道贯通误差影响近似计算公式。

从以上推导过程可以看出, 导线测量误差影响产生在贯通面上的横向中误差计算公式, 系根据单导线推导出来的。但现场施测时为了满足贯通精度的需要及增强网的可靠性, 隧道洞内、洞外控制测量一般不接单导线形式布设, 而采用多边形闭合导线环, 视作双导线, 贯通误差取单导线的 $1/\sqrt{2}$ 倍。

6. 4. 9 按照隧道洞外、洞内高程闭合环闭合差限差为高程贯通限差来设计高程测量精度, 既满足隧道贯通误差要求, 同时也能满足轨道板施工依据的 CPⅢ 高程控制网精度要求。测量设计的水准测量精度等级应满足线路水准基点网(表 4. 7. 4)的要求。

6. 5. 1 地形困难无法布点时, 2 个后视方向点间距可能很近, 网形不能满足要求, 主要满足施工进洞检测需要。其地质条件一致, 稳定性基本相当, 相当于洞口仅有 2 个控制点, 当某一控制点发生变化后, 不能有效判断哪个点发生变化, 因此增设一个远距离、不

需通视条件的控制点,用于点位稳定性检查、恢复或增加新的洞口子网控制点使用。

8 km~20 km 的特长隧道,控制网最弱边的基线边方位角精度较难达到 $1.0''$,隧道洞口及辅助坑道口布设的控制点边长距离不能满足要求时,为保证进洞方向精度,应设置强制对中观测墩或将控制网移设到空旷处,布设为长边控制,保障控制网精度指标达到要求。

6.5.2 按本规范第 3.2 节的要求进行无约束平差时需要一个 WGS-84 坐标起算点,一般要求这个点与独立坐标系的坐标原点重合,以便计算出的点位误差均是相对于该点的;WGS-84 坐标可以通过坐标增量从基线解算用的高精度 WGS-84 坐标起算点传算得到。

6.6.1 考虑大于 5 km 隧道需要三等以上导线精度,越岭环境条件差,很难达到精度要求,宜采用 GNSS 方式建立洞外控制网。因此设有斜井、短于 5 km 的隧道可以采用越岭导线建立洞外控制网。

6.6.2 最有利的观测时间一般为天明到日出前半小时、日落半小时后到天黑、阴天和晚上这些时间。当视线离地面较近时,尽可能选择在阴天或晚上观测。

6.6.4 洞外水平角观测,施工单位长期以来一直采用方向观测法。即使在洞口附近,一些测站涉及多个观测方向时,也都不采用组合法测角,而仍采用分组的观测方法,因此不考虑复测法测角。

隧道洞外控制网一般边长较短,且俯仰角较大,受地形限制,网中各边长度不一,为提高观测精度,观测前选择边长适中、俯仰角不大的方向作为起始方向,以减小观测过程中的仪器调焦误差。观测过程中,在测回间改变对中器方向重新对中置平仪器和觇标,以减小仪器和觇标的对中误差对测角的影响,这对保证测角精度来说是很重要的。

6.6.7 导线网严密平差计算时,尤其应该注意边、角的定权问题。

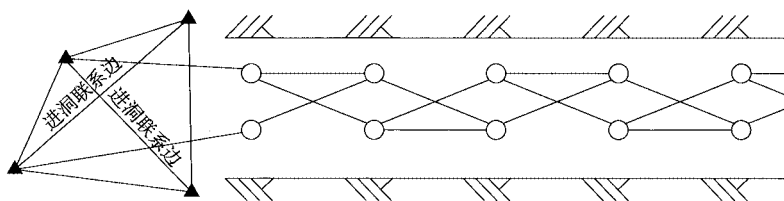
如果平差时边、角定权不合理,在一定程度上反而降低了成果的可靠性,按本条文定权时,还需要注意边、角的误差体系必须一致,即都采用相对误差体系,或者都采用绝对误差体系。当导线网多余观测数足够时,可按赫尔墨特方差分量估计方法迭代定权。

现在软件计算比较容易,删除近似平差方法。考虑到铁路隧道控制网导线环的坐标闭合差一般较小,根据以往经验,严密平差后角度改正值应不大于测角中误差的 2 倍。

6.7.2 光电测距三角高程测量技术已逐渐成熟,二等、三等、四等三角高程测量正式进入测量规范代替几何水准测量,只要同时或及时对向观测,消除大气折光影响,测距三角高程测量的精度就能得到保证。对于绕行路线不长的隧道,仍建议采用水准测量方式。

6.8.1 当完成洞外控制测量后,可以通过软件选取最佳进洞联系边,用于向洞内传算坐标与方位。为提高传递精度和可靠性,一般选取两条进洞联系边向洞内同时传递方向和坐标,即分别在洞外两个控制点上置镜向洞内传递方向和坐标。洞外两条独立路线向洞内传递数据,洞内导线构成闭合检核条件,提高洞内导线的方向精度,保障隧道准确贯通。在测量设计时,也是取用了双导线的精度,见说明表 6.1.4—3。

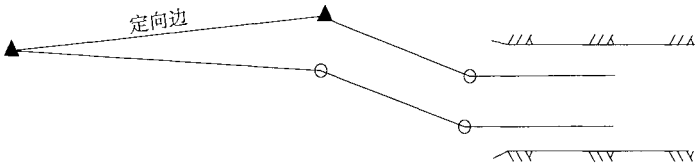
洞外洞内导线边连接方式和洞内交叉双导线的布网形式如说明图 6.8.1—1 所示。



说明图 6.8.1—1 双路线引测进洞与洞内交叉导线环示意图

困难条件下只有一条定向边时,可分别在该引测边两端设站

独立引测进洞形成闭合环,如说明图 6.8.1—2 所示。



说明图 6.8.1—2 单边双线引测进洞示意图

6.8.2 隧道引测进洞前,应利用全站仪对洞口网进行检测,确认洞外控制网精度和稳定性。GNSS 测量系统与全站仪导线测量分属法线系统和垂线系统,两者之间必存在一些差异;但实现测量地面点间几何关系的目标是一样的,即达到一定等级的距离、角度测量精度,二者在精度目标上应该是兼容的。

(1)关于全站仪检测 GNSS 网边角限差。

GNSS 测量系统自带方位基准,其方位精度极高(当然也受到外部观测条件、测量对中误差等因素的影响),且 GNSS 网基线边之间的强相关性,因此用误差传播定律计算 GNSS 角度误差不能照搬全站仪导线测量中按方向独立误差计算角度误差的方式。取 GNSS 角度误差为其方向误差,检测角度限差按较差中误差的 2 倍计,得到条文表 6.8.2 用全站仪检测 GNSS 角度较差限差指标,大致相当于 3 倍 GNSS 方向误差。

距离在 600 m 以内时,GNSS 测量的弦长固定误差占主要部分;全站仪测量距离的固定误差也占主要部分。全站仪检测 GNSS 距离的较差时,GNSS 弦长误差占主要部分,根据经验取值 $\sqrt{2}\sigma$ (σ 为 GNSS 弦长误差)。

(2)如前所述,GNSS 测量与全站仪导线测量分属不同系统,在俯仰角较大时,可能出现垂线偏差的明显影响,检测 GNSS 角度时,应顾及该因素影响,必要时施加相应改正。

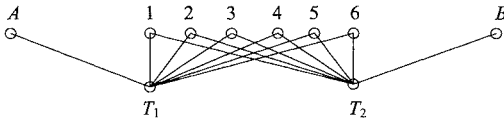
(3)GNSS 测量结果为投影到平面的坐标(距离和角度)。全

站仪测量的距离也需经过高程投影、高斯平面投影后才能与 GNSS 距离进行比较。

6.8.3 隧道内视线受隧道坑壁旁折光影响,尤其在狭窄的单线隧道中更严重,对隧道贯通精度带来不利影响。洞内导线边视线应离开坑壁和施工热源设备一定距离,导线网应尽量设计成左右交叉观测视线,以削弱旁折光的影响。导线点位布设时,交叉导线的点位宜前、后错位布设,其错位间距以 3 m~5 m 为宜。

6.8.4 洞内导线边长度受到洞内条件限制,会出现短边导线(如斜井、正洞交叉处),此时,应采取提高精度的措施,如采用强制对中、三联脚架法观测、加测陀螺方位角等。对于短边方位传递,还可采用多公共转点侧方交会导线测量方法(发明专利 ZL201510188630.0),简要介绍如下:

在相邻测站观测相同的若干个线状排列的目标棱镜(5~7 个),传递坐标与方位,见说明图 6.8.4—1。



说明图 6.8.4—1 边角侧边交会导线

测量时,短边上设置大致均匀分布的 5~7 个公共棱镜作转点用,不需对中,只需精确整平。全站仪在 T_1 测站全圆观测后视点 A 和公共棱镜 1~6 的距离、方向值 3~4 测回,然后转动各棱镜对准 T_2 ,在 T_2 测站全圆观测前视点 B 和公共棱镜 1~6 的距离、方向值 3~4 测回,完成从 $A \sim T_1$ 到 $T_2 \sim B$ 的方位传递。一般观测左、右两组,先观测说明图 6.8.4—1 中所示的公共棱镜 1~6 位于 $A \sim T_1 \sim T_2 \sim B$ 左侧的一组,再观测公共棱镜 1~6 位于 $A \sim T_1 \sim T_2 \sim B$ 右侧的一组,取方位平均值。根据科研项目《高速铁路长大隧道平面控制测量关键技术研究》,课题组反复测试并在多个隧道

项目上应用验证,使用这种方法传递 20 m~30 m 的短边方位精度可达 $2.0''$,在隧道斜井转正洞的交点处可供传递短边方位使用。

6.8.5 采用在点对中间设站的自由测站边角交会网形式,虽然观测量较大,但该方法可以大幅削弱隧道洞内旁折光影响,避免测站仪器对中误差影响;网形可靠性强、精度高,非常适合长大隧道洞内控制测量,详见条文说明 3.8.5。

6.8.6 关于洞口测角问题的说明:由于洞外控制数据是通过隧道进洞联系边向洞内导线传递的,进洞联系边的观测质量直接影响隧道横向贯通精度,洞口站由于处于洞外与洞内交接处,白天测量时,洞外与洞内的光线明暗强度、温度及气象条件各不相同,很难保证观测质量。因此,建议该站的测角工作选择在阴天或晚上进行为宜。如果洞口段为曲线隧道,尤其应当注意折光和气压影响。

6.8.9 目前 $5''$ 级以上的陀螺仪已有部分施工单位使用,如德国 DMT 公司生产的 GYROMAT3000 型陀螺全站仪(标称定向精度优于 $3''$)在西成客专隧道掘进中使用,陀螺定向对隧道外常数边和隧道内定向边采用“3-4-3”观测,对于同一条边,同一方向观测任意两测回陀螺方位角的互差不得超过 $10''$;统计陀螺计算坐标方位角与已知坐标方位角较差数据为: $2.8''$ 、 $2.3''$ 、 $-2.2''$ 、 $4.8''$ 、 $-6.2''$ 、 $8.3''$ 、 $9.2''$ 、 $0.6''$ 、 $-6.8''$ 、 $6.9''$ 、 $-7.7''$ 、 $-6.8''$ 、 $-1.9''$ 、 $-0.3''$ 、 $-13.9''$ 、 $-11.9''$ 。可见该陀螺仪测量的坐标方位角与已知坐标方位角较差基本可以达到 $10.0''$ 。

当隧道单向掘进较长时,洞内适当增设高精度的陀螺定向边,可以有效检核洞内导线边的方位,因此规定“隧道单头掘进每隔 5 km 左右宜采用不低于 $5''$ 级的陀螺仪加测定向边”。

陀螺方位定向测量方法与相关限差指标可参见条文说明 6.12.4。按照误差理论,方位角精度 $m_F = 5''$,方位较差误差 $m_{\Delta F} = \sqrt{2}m_F = 7.1''$,方位较差限差 $M_{\Delta F} = 2m_{\Delta F} = 14.2''$,兼顾其他精度的仪器,将陀螺仪测量的坐标方位角与导线边坐标方位角较差限差

规定为 $15.0''$ ，因此规定“当陀螺边方位角与洞内导线边坐标方位角之差大于 $15''$ 时，应进行分析检查”。

由于陀螺定向测量同样需要测量实地两个方向点，因此陀螺方位定向边视线方向也必须注意避免旁折光的影响，同时提高仪器对中精度。

6.8.11 隧道贯通后，将在洞内布设 CP II 网，为轨道控制网 CP III 提供基准。洞内 CP II 导线网贯通测量时，也会产生测量误差，平差后与施工期间洞内控制点成果会存在差异（测量误差引起）。在保证平顺性前提下，为尽量保持隧道建筑现状，洞内 CP II 网需要联测施工期间的洞内控制点，因此洞内控制点应注意保留。

6.9.2 通过横通道将左、右线隧道水准点联测，构成水准网方式，进行整体严密平差，可以提高高程测量的精度，有效保障高程成果的可靠性。

6.10.2 定期复测采用整网测量方式，当隧道由多家施工单位承建时，要求各施工单位加强沟通，商定复测时间与方式（如联合测量或轮流复测），数据共享，采用整体平差成果评价控制点的稳定性。

6.10.3 复测控制网与新建控制网不同，要求复测方法应与原测保持一致，不要求采用原控制网的坐标原点、方向点建立复测网，而选用进、出口稳定控制点进行约束平差，是基于建网采用的基准点在复测时可能已经破坏；即使存在，若采用相同的建网方法，可能因为测量时微小的方向误差导致坐标变化呈现逐渐变大的系统性趋势，在出口端存在坐标值变化较大的现象。

复测网平差宜选用隧道进、出口稳定控制点进行约束平差是指各选 1 个控制点，满足两期控制网坐标的可比较性。

6.10.4 按照说明表 6.1.4—2 中的控制点坐标中误差统计结果，点位精度在 8 mm 左右，坐标精度在 6 mm 左右，采用同精度复测，取 2 倍中误差作为限差标准，则坐标较差限差 16 mm，取 15 mm，与线路 CP II 控制网的复测坐标较差一致。

本次修订对兰渝线、西成线、黄韩侯铁路共计 18 座隧道的实际复测资料进行了统计,共有 336 个控制点,复测坐标较差大于 15 mm 的控制点 19 个,合格率 94.6%,基本符合误差分布规律。

隧道控制网的边长悬殊大,洞口间联系网的边长在 2 km~35 km,而洞口子网的边长一般在 200 m~600 m。因此,洞口间联系网的长边采用相对坐标增量变化方式作为判断控制点的稳定性限差标准,与线路网一致。

洞口子网的短边采用相对关系法评价控制点的稳定性,即反算洞口子网三角形或大地四边形的边长、角度进行比较分析。GNSS 网复测的点间角度较差限差按 3 倍基线方位中误差控制(见条文说明 6.8.2)。GNSS 复测的方位较差按 3 倍 GNSS 方位误差控制结合实际统计数据确定。根据对 25 座 10 km 以上贯通特长隧道的实际复测资料统计,短边的角度较差统计见说明表 6.10.4。

说明表 6.10.4 特长隧道复测角度较差统计表

序号	总角度个数	≤4"	4"~5"	5"~7"	>7"
1	56	50	0	3	3
2	46	40	2	1	3
3	23	21	1	1	0
4	29	20	2	2	5
5	78	78	0	0	0
6	57	57	0	0	0
7	51	51	0	0	0
8	24	24	0	0	0
9	19	18	1	0	0
10	60	49	2	1	8
11	32	31	1	0	0
12	32	21	4	4	3

续说明表 6.10.4

序 号	总角度个数	$\leq 4''$	$4'' \sim 5''$	$5'' \sim 7''$	$> 7''$
13	18	17	0	1	0
14	23	20	0	2	1
15	20	17	1	0	2
16	21	18	0	3	0
17	26	21	2	1	2
18	17	15	1	1	0
19	32	19	1	4	8
20	12	12	0	0	0
21	45	36	2	3	4
22	38	22	5	6	5
23	56	50	4	1	1
24	15	15	0	0	0
25	12	10	1	1	0
合计	842	732	30	35	45
比例(%)		87	4	4	5

从说明表 6.10.4 中可以看出,25 座 10 km 以上特长隧道的实测资料按 $4''$ 作为限差,其合格率达到 87%,指标基本合理。

在 GNSS 定位观测时,不同时段观测要求重新设站独立观测。GNSS 网的复测与其相当,按二次设站对待。因此,GNSS 网复测距离较差按照 GNSS 的时段较差标准执行,采用时段较差的方式作为复测边长较差的限差标准。

导线、三角形网复测较差按表 5.8.9—3 执行,表中仅增加了二等导线相应角度较差指标。

6.11.1

(1)由导线测设中线:适用于洞内施测导线贯通的隧道。要求测设不少于 3 点是为了便于检核。直线上放设 3 点后,通常用串

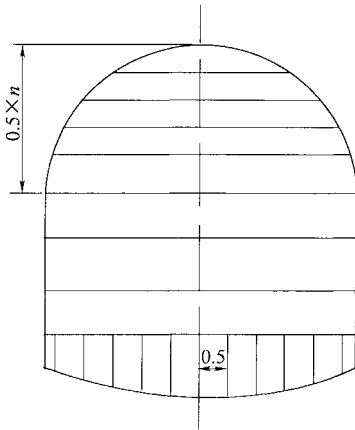
线法检核；曲线上放出 3 点后，一般置镜中间点检测偏角。当中线上只测设 1 点或 2 点时，一般需测设 2 个已知点的方位、构成检核角。

(2)分部开挖的隧道加密衬砌用的临时中线点时，曲线上宜每 10 m 一点，直线上宜每 20 m 一点；全断面开挖的隧道，为了台车定位方便，直线和曲线上都宜按 10 m 一个点加密。

6.11.2 洞内采用光电测距三角高程加密施工高程点时，考虑到边长较短，通常在 100 m 左右，而且一般最多传递 2~3 条边。因此，地球曲率对高差影响极小；垂直折光影响也忽略不计，故不需要作对向观测，只要求变动反射器高度观测两次，以防粗差。

6.11.3 全断面开挖完成后，需进行开挖断面测量，以判断开挖断面是否符合净空要求及超欠挖情况，并根据断面测量成果计算已完成的土石方数量和回填数量。

断面点的间距，宜按中线和外拱顶高程从上到下拱部和曲墙部每 0.5 m、直墙部 1.0 m 间隔分别测量中线左右侧相应高程处的横向支距，如说明图 6.11.3 所示。



说明图 6.11.3 隧道断面测量示意图(单位:m)

6.11.4 隧道衬砌作为永久性建筑,在浇筑前必须确认平面、高程位置的准确。洞内施工干扰大,在施工面的测量控制点多数为临时点,容易发生位移和被破坏,施工放样前必须检查控制点的精度和稳定性。

衬砌模板安装固定完成后,应对模板的位置再次进行检查,确保浇筑混凝土平面、高程位置的正确。

衬砌模板在浇筑混凝土时、长期使用过程中可能产生变形,在拆除模板后及时测量衬砌断面,及时反馈、调整模板,以确保隧道衬砌断面净空尺寸满足设计要求。

采用免棱镜极坐标法测量的衬砌断面成果,宜同时保留所用测量控制点(测站点、后视点)的三维坐标,以便在隧道贯通误差调整后,根据控制点调整数据检查所测量的断面净空尺寸。

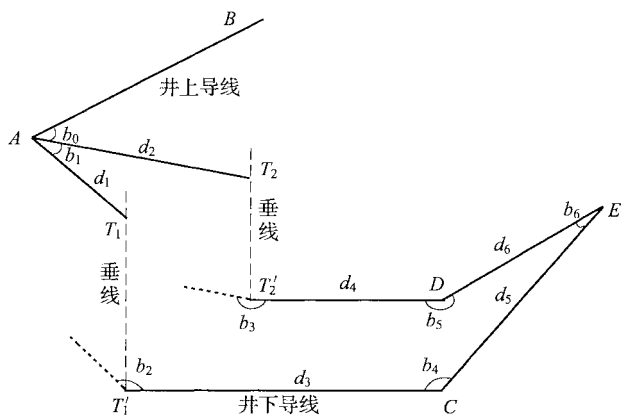
6.12.1 竖井掘进到 100 m~300 m 左右时,定向边精度可以得到保证,因此宜进行首次联系测量定向。多次定向提高精度和可靠性。在掘进到 1/3、2/3~3/4 长度时,进行一次陀螺定向,提高测量精度的功效最大。

6.12.4 运用陀螺经纬仪进行定向的常用方法主要有逆转点法和中天法。它们之间的主要差别是,在测定陀螺北方向时,逆转点法的仪器照准部处于跟踪状态,而中天法的仪器照准部是固定不动的。

根据定向仪器的精度不同,每一定向边可以进行一至二次独立定向工作,每一次定向测量不少于三测回,每一测回之间均重新安置仪器并重新开机。

联合定向法首先采用光学垂准仪,通过投点确定井上、井下在同一铅垂线上的点位,然后用陀螺仪分别进行井上井下定向,根据陀螺定向成果,把井上导线的坐标和方位传递到井下导线。这种测量的方法如说明图 6.12.4 所示。竖井联系测量一般按下列步骤进行:

(1)竖井投点: A、B 为井上已知导线点,C、D、E 为井下待求



说明图 6.12.4 井上井下导线联测示意图

导线点。在井口选定 T_1 、 T_2 两个点位，用光学垂准仪在井上或井下投点， T_1 、 T_1' 在空间上为 2 个点，但投影到同一平面时就成为 1 个点； T_2 、 T_2' 情况相同。井上、井下导线通过投点连成一闭合环。

(2) 陀螺定向：定向时采用陀螺经纬仪或陀螺全站仪进行。由于井筒上下不宜安置陀螺仪，故井上选择 AB 为定向边，井下选择 CE 为定向边，进行陀螺定向观测。

(3) 导线测量：置镜 A 、 C 、 D 、 E 点，按设计精度，用全站仪进行导线测量。

(4) 平差计算：根据导线测量及定向测量的数据，进行导线平差计算。坐标、方位从井上导线点 A 、 B 传递到井下导线点 C 、 D 、 E ，其坐标成果用于指导施工。

垂准仪、陀螺经纬(全站)仪联合定向法操作简单、精度高，在北京地铁、广州地铁、深圳地铁等城市轨道交通工程中广泛应用，效果良好。

垂准仪、陀螺经纬(全站)仪联合定向法要求所采用的仪器、标牌和测距棱镜需互相配套，否则，加工异型连接螺杆，其加工精度

对于纵轴不同轴误差小于 0.2 mm。

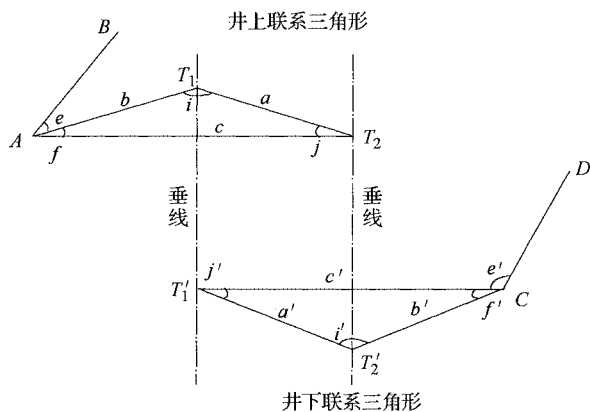
现在自动陀螺仪已经在施工中得到应用,标称精度分别为 3"、5"、10"、25"。

根据对中铁二局使用的索佳 AGP-1(标称精度 6")((《高精度陀螺方位测量技术研究》科研项目)、中铁隧道局使用的 BTJ-3(标称精度 3.6")陀螺仪测量数据统计,独立测回间陀螺方位较差的限差宜按 $2\sqrt{2}m_0$ 控制。

两条陀螺仪定向边夹角与全站仪测量角度较差限差根据误差传播理论计算得到。

采用自动定向的方法,人工干预少,定向可以达到较高精度。但应在地面不同 GNSS 方位边检核其稳定性。陀螺定向测量宜在测边往返观测,并在计算时计入子午线收敛角改正。

6.12.5 联系三角形法是一种传统的竖井联系测量方法。三角形联系测量控制点布设如说明图 6.12.5—1 所示。



说明图 6.12.5—1 联系三角形示意图

作业过程一般按下列步骤进行:

(1)导线布设:垂线是通过竖井绞车及导向滑轮悬挂并吊有重

锤的高强钢丝。A、B 为已知的地面导线点，C、D 为待求的井下导线点。

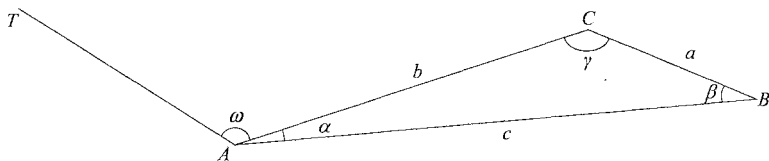
(2) 三角形测量：测量 e, f, e', f' 角度；测量 a, b, c, a', b', c' 边长。边长可用钢尺量取，也可用反射片测量。

(3) 三角形平差计算：根据联系三角形测量的距离、角度和已知点 A、B 的坐标进行平差，得到 C 点的坐标，其成果用于指导施工。

(4) 重复观测：进行联系三角形测量时，为保证精度，一般重复观测至少 2 组。每组观测前，将两垂线位置稍加移动，测量方法完全相同。由各组推算井下同一导线点坐标和同一导线边方位角。各组数值互差满足限差规定时，取各组的平均值作为本次测量的最后成果。

联系三角形计算示意图如说明图 6. 12. 5—2 所示。由图可知：

$$\sin\beta = \frac{b}{a} \sin\alpha \quad (\text{说明 } 6. 12. 5-1)$$



说明图 6. 12. 5—2 联系三角形计算示意图

为确定角度 α 与边长 a, b 的测量误差对角度 β 的影响，微分式(说明 6. 12. 5—1)并变换为中误差，令 $m_a = m_b = m_c = m_s$ ， $\cos^2\alpha = 1 - \sin^2\alpha$ ，代入并变成中误差形式，得

$$m_\beta^2 = m_s^2 \left(\frac{\tan^2\beta}{b^2} + \frac{\tan^2\beta}{a^2} \right) \rho^2 + m_a^2 \left(\frac{b^2}{a^2 \cos^2\beta} + \tan^2\beta \right) \quad (\text{说明 } 6. 12. 5-2)$$

当联系三角形 α, β 角度不大于 3° 时，则式(说明 6. 12. 5—1)可

用 $\tan\beta = \frac{b}{a} \tan\alpha$ 表示。

同时,式(说明 6.12.5—2)第一项为边长 a 、 b 测量误差对角度 β 的影响,第二项为角度 α 测量误差对角度 β 的影响,于是得

边长 a 、 b 测量误差对角度 β 的影响:

$$m_{\beta} = \frac{m_s}{a} \rho \tan\alpha \sqrt{1 + \left(\frac{b}{a}\right)^2} \quad (\text{说明 6.12.5—3})$$

角度 α 测量误差对角度 β 的影响:

$$m_{\beta} = \frac{b}{a} m_{\alpha} \quad (\text{说明 6.12.5—4})$$

根据经验,联系三角形边长测量允许误差一般要求为 ± 0.8 mm, 角度测量误差为 $\pm 4''$ 时,按式(说明 6.12.5—3)计算的结果见说明表 6.12.5—1,按式(说明 6.12.5—4)计算的结果见说明表 6.12.5—2。

说明表 6.12.5—1 边长 a 、 b 测量误差对角度 β 的影响

α	$a=3$ m			$a=4.5$ m			$a=6$ m		
	$b/a=1$	$b/a=1.5$	$b/a=2$	$b/a=1$	$b/a=1.5$	$b/a=2$	$b/a=1$	$b/a=1.5$	$b/a=2$
$0^{\circ}30'$	0.6	0.8	1.0	0.4	0.6	0.7	0.3	0.4	0.5
$1^{\circ}00'$	1.3	1.6	2.1	0.6	1.1	1.4	0.6	0.8	1.0
$2^{\circ}00'$	2.6	3.3	4.2	1.8	2.2	2.8	1.3	1.7	2.1
$3^{\circ}00'$	3.9	4.9	6.2	2.6	3.3	4.1	2.0	2.5	3.1

说明表 6.12.5—2 角度 α 测量误差对角度 β 的影响

α	$a=3$ m			$a=4.5$ m			$a=6$ m		
	$b/a=1$	$b/a=1.5$	$b/a=2$	$b/a=1$	$b/a=1.5$	$b/a=2$	$b/a=1$	$b/a=1.5$	$b/a=2$
$0^{\circ}30'$	4.1	6.0	8.0	4.0	6.0	8.0	4.0	6.0	8.0
$1^{\circ}00'$	4.2	6.1	8.3	4.1	6.1	8.1	4.0	6.0	8.1
$2^{\circ}00'$	4.8	6.8	9.0	4.4	6.4	8.5	4.2	6.2	8.3
$3^{\circ}00'$	5.6	7.7	10.1	4.8	6.8	9.0	4.5	6.5	8.6

按上述推算得出以下结论：

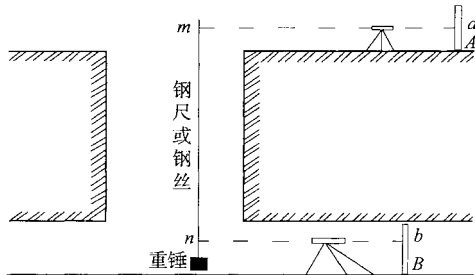
- 1) 两悬吊钢丝间距不小于 5 m。
- 2) 角度 α 小于 1° 。
- 3) $b : a$ 及 $b' : a'$ 的比值小于 1.5。

联系三角形一次定向独立完成三测回，是指每测回观测完成后均变动两根钢丝的垂吊位置重新进行定向测量，共有三套不同的完整观测数据。这样规定的目的，一是提高精度，二是检核粗差，保证成果可靠性。

钢丝加重前需投放信号圈检查钢丝是否处于自由状态；加重时缓慢加重至规定的允许重量；确认钢丝稳定后，上下同时观测。

联系三角形定向测量作业简单，但较为烦琐、占用井筒时间长，不易提高精度。

6. 12. 6 采用钢丝或钢卷尺向井下传递高程是施工中最常见的高程传递方法，作业方法如说明图 6. 12. 6—1 所示。

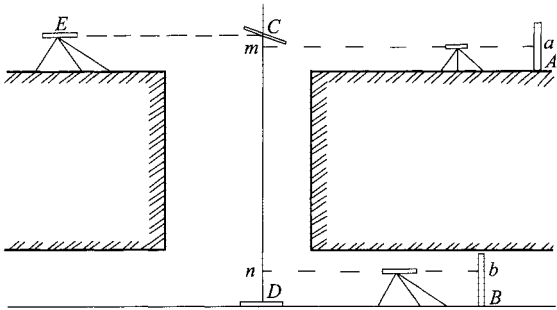


说明图 6. 12. 6—1 高程联测示意图(一)

首先应在井筒中部悬挂一钢丝(尺)，在井下端悬以重锤，使其处于自由悬挂状态；然后，在井上、井下同时用水准仪测得 A、B 处水准尺上的读数 a 和 b ，并用水准仪瞄准钢丝读数，完成一次测量。变换仪器高重复上述测量工作，取其平均值作为最终结果。

采用全站仪导高法传递高程，测量精度高，而且缩短了井筒占用时间。测量顺序如说明图 6. 12. 6—2 所示。

在井口附近的地面上安置全站仪，在井口和井底的中部分别



说明图 6.12.6—2 高程联测示意图(二)

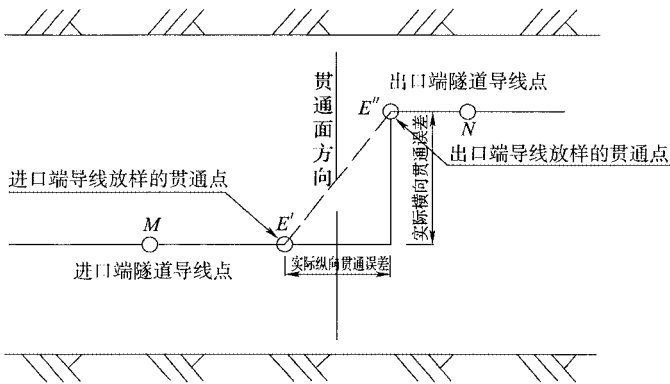
安置反射镜。在测量 $E \sim C$ 的距离时, C 点插入平面反射镜, 在测量 $E \sim C \sim D$ 的距离时, 插入全反射镜。 D 点为全反射镜。井上的反射镜与水平面成 45° 夹角, 井下的反射镜处于水平状态; 通过全站仪分别测量出仪器中心至井上和井下反射镜的距离 L 、 S , 从而计算出井上与井下反射镜之间的高差: $H = S - L$; 然后, 分别在井上、井下安置水准仪, 测量出井上反射镜中心与地面水准基点间的高差 h_{AE} 和井下反射镜中心与井下水准基点间的高差 h_{DB} , 则可计算出井下水准基点 B 的高程 H_B 。

6.13.1 隧道施工一般采用精密导线建立洞内控制测量, 实际贯通误差的测定方法说明如下:

(1) 中线法测量平面贯通误差

采用中线法测量隧道贯通误差, 是从进口端和出口端导线上分别将贯通面里程点放样钉设在实地上, 实量两个实际放样点间的横向距离和纵向距离即为横向和纵向贯通误差, 如说明图 6.13.1—1 所示。

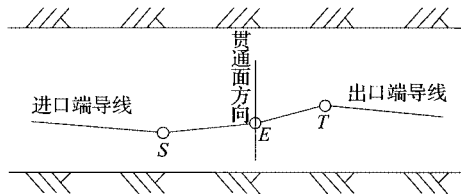
说明图 6.13.1—1 中, M 、 N 为进口、出口端洞内导线点, E' 、 E'' 分别为进口端和出口端导线放样出的贯通面里程点(其理论位置应该相同), 实量 E' 、 E'' 在线路中线切线方向上的距离即为纵向贯通误差, 在垂直线路中线方向(法向)上的距离即为横向贯通误差。



说明图 6.13.1—1 中线法测量贯通误差

(2) 导线法测量平面贯通误差

采用导线法测量隧道贯通误差方法如说明图 6.13.1—2 所示。



说明图 6.13.1—2 导线法测量贯通误差

在贯通面附近任选一点 E ，由进口端导线测出它的坐标 $(x_{E进}, y_{E进})$ ，由出口端导线测出它的坐标 $(x_{E出}, y_{E出})$ ，由此算得实际贯通误差值为 $\sqrt{(x_{E出} - x_{E进})^2 + (y_{E出} - y_{E进})^2}$ 。它在贯通面方向（线路法向）上的投影长度，即是实际横向贯通误差 $E_{横}$ ；它在线路切线方向上的投影长度，即是实际纵向贯通误差 $E_{纵}$ ，也可用下式计算：

$$E_{横} = |\Delta x \cdot \cos\varphi + \Delta y \cdot \sin\varphi|$$

$$E_{纵} = |-\Delta x \cdot \sin\varphi + \Delta y \cdot \cos\varphi| \quad (\text{说明 } 6.13.1)$$

式中 $E_{横}, E_{纵}$ ——横向、纵向贯通误差;

φ ——贯通面方位角;

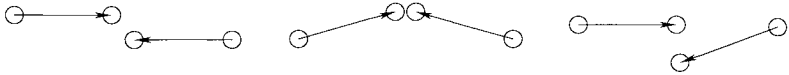
Δx —— $x_{E出}$ 与 $x_{E进}$ 之差, $\Delta x = x_{E出} - x_{E进}$;

Δy —— $y_{E出}$ 与 $y_{E进}$ 之差, $\Delta y = y_{E出} - y_{E进}$ 。

当 Y 轴平行于贯通面时, 则 $y_{E出} - y_{E进}$ 即为实际横向贯通误差, $x_{E出} - x_{E进}$ 即为实际纵向贯通误差。

方位角贯通误差的测定方法是: 测量 $\angle SET$, 由出口端导线方位角 α_{TE} , 推算 SE 边的方位角 $\alpha_{SE出}$, 它与进口导线推算的方位角 $\alpha_{SE进}$ 的差值 ($\alpha_{SE出} - \alpha_{SE进}$), 即为实际方位角贯通误差。

方位角贯通误差是为检查两端导线测量的方向误差情况, 有可能出现方位误差较小坐标贯通误差较大、坐标贯通误差较小但方位误差较大、坐标和方位误差均较大的情况, 如说明图 6.13.1—3 所示。



说明图 6.13.1—3 方位贯通几种情况示意图

(3) 由进、出口水准路线分别测至贯通面附近的 E 点, 得到 E 点的高程 $H_{E进}$ 和 $H_{E出}$, 则 $H_{E进} - H_{E出}$ 即为实际高程贯通误差。

隧道贯通以后, 通过贯通测量测得的实际贯通误差包括纵向、横向、方位角以及高程贯通误差。测定贯通误差的主要作用如下:

一是隧道贯通后进行贯通误差调整, 以此作为未衬砌段今后的施工和轨道铺设依据; 二是统计隧道实际贯通误差, 以验证隧道测量设计理论, 改进隧道测量设计, 研究测量方法和测量仪器; 三是为将来测量规范的修订提供参考。

因此, 隧道贯通后, 测量单位按本规定即时组织人员测量实际贯通误差并提出相应的贯通误差调整方案。贯通误差的测量及调整资料需妥善保留。

6.13.3、6.13.4 条文对直线隧道、曲线隧道平面贯通误差的调整作出了相应的规定。这些调整方法依据中线平顺衔接要求为目标,在过去施工的隧道基本上都能用到,并且效果很好。

考虑隧道衬砌模板变形、测量误差与施工误差等因素,施工时的隧道断面均较设计尺寸有所加宽,一般加宽在 5 cm 以上。如果贯通误差在加宽范围内,则可以通过洞内导线平差计算调整贯通误差,调整后的线路中线不会影响已衬砌地段的线路中线,因此宜优先采用平差法调整贯通误差。

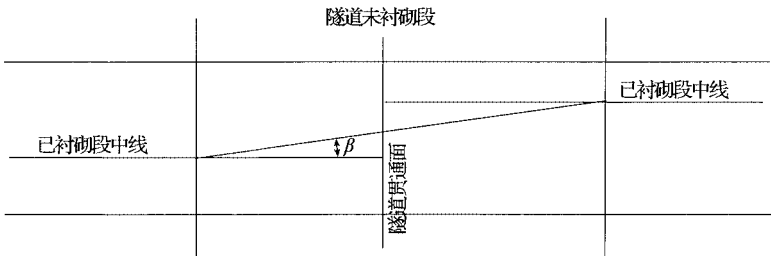
(1) 采用控制网平差法调整贯通误差

隧道洞外、洞内两端控制网连接贯通后,通过网平差处理,将测量贯通误差分配到控制网中各导线点角度、距离观测值中,实现纵向、横向贯通误差调整。

网平差时,一般以隧道进、出口洞外控制点或洞内贯通面两端已衬砌地段控制点,以及贯通面处控制点为约束点进行约束平差,选择的约束点应满足导线精度要求,在满足线路平顺性要求条件下,顾及隧道衬砌现状、减少因贯通误差调整引起的衬砌修整。

(2) 中线调整法调整贯通误差

折线法调整是一种比较简单的调整方法。其调整方法如说明图 6.13.3 所示。



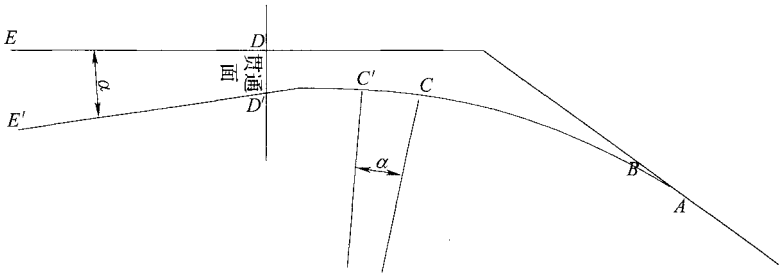
说明图 6.13.3 折线法调整贯通误差

因调线而产生的折角在 $5'$ 以内时,圆曲线长度远远不足现行线路设计规范最小 30 m 规定,无法设置曲线;外矢距也小于 1 mm ,顶点内移量实际上设不出来,因此可视为直线线路。

折角在 $5' \sim 25'$ 时,按 $\beta=25'$ 、 $R=10\ 000\text{ m}$ 计算,曲线全长 70 m ,也无法设置最短圆曲线长 30 m 、缓和曲线长 40 m 的曲线。但按这种要求设置的顶点内移值可达 70 mm 。因此,当折角在 $5' \sim 25'$ 时,规定采用顶点内移的方法也是可行的。

当折角超过 $25'$ 时,可设置大半径曲线,半径的大小可根据贯通误差大小选取。

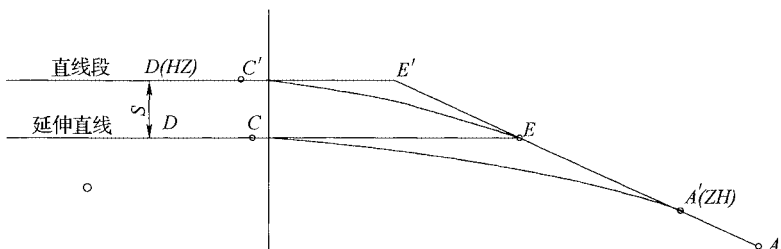
当调线地段内有直线和曲线,而且贯通点在曲线的始终点附近时,要注意由曲线延伸出来的切线是否与另一端洞内直线相重合。通常出现的情况是不重合也不平行。在此情况下,先将两者调整平行,然后再继续调整至重合。可采用“调整圆曲线长度法”调整平行,该调整方法如说明图 6.13.4—1 所示。



说明图 6.13.4—1 调整圆曲线长度法调整贯通误差

D 和 D' 附近为贯通点,当从 D' 点继续向前延伸切线时,此切线与 DE 切线不平行,欲使切线平行,可将圆曲线 BC' 缩短到 C ,此时圆曲线半径和缓和曲线长度保持不变,而圆曲线之中心角减小了相应的值, $D'E'$ 切线也转动一个角与 DE 切线平行。

调整平行后,进一步调整使此切线与直线重合,调整的方法是“调整曲线始终点法”,如说明图 6.13.4—2 所示。



说明图 6.13.4—2 调整曲线始终点法调整贯通误差

由说明图 6.13.4—2 可以看出,欲将延伸直线与直线段 $E'D$ 重合,只需将曲线的 ZH 点由 A 沿其切线本身移至 A' ,此时切线 DC 与切线 $D'C'$ 重合。由图可知: $AA' = EE' = S/\sin\alpha$ 。按上述方法调整后,进行实地放设与检测。

6.13.5 隧道贯通后将建立洞内 CPⅡ 控制网,以便为轨道控制网 CPⅢ 提供测量基准测设中线。为确保 CPⅡ 网平差后的隧道衬砌净空不侵界,需要联测施工期间的洞内控制点,利用原贯通误差调整时施工控制点与隧道衬砌断面的平面关系进行检核,依据的是衬砌断面特征点的平面位置。控制点与中线及衬砌断面特征点的横向位置相对关系,是指控制点左侧或右侧到中线点的水平距离、控制点在衬砌断面起拱线、轨顶面以上 1.1 m、3 m、5.8 m 水平线处到衬砌内轮廓线的水平距离(即控制点到内衬的左右宽度)。

6.13.6 隧道高程测量为满足轨道铺设精度要求,相对于满足贯通误差要求已提高了 1~2 个测量精度等级,因此更易满足高程贯通误差要求,贯通后采用水准附和路线平差,实现高程贯通误差的调整。一般只对未衬砌地段的水准点高程进行调整,约束点一般选择已衬砌地段水准点。

6.14.4 对于铺设无砟轨道的隧道,应用洞内导线放设线路中线点;对于铺设有砟轨道的隧道,由于今后的轨道维护采用 CPⅢ 进行,因此无须再放设施工中线点。

中线复测实际上是一次全面的中线恢复。由于施工条件影响,隧道竣工测量时施工中线点或导线点已经部分丢失。

为作好中线恢复工作,需要注意:一是施工过程中必须设法保留大部分中线点或导线点,以便恢复中线;二是恢复中线保证必要的精度,在复测中要判断原有点位是否可靠,否则恢复的中线可能难以满足轨道平顺性要求,甚至可能导致侵入建筑限界。

恢复中线时,一般不宜按洞口已知点采取重新串线或偏角法测设曲线的方法恢复。采用导线测量的隧道,在隧道贯通测量并进行贯通误差调整、重新确定各导线点坐标后,利用导线点用极坐标法重新定设线路中线点;采用中线法测量的隧道尽量保留中线点,在完成贯通误差调整后,经检核原有中线点满足要求后,利用原有中线点放设永久中线点,这种方法可用于设计时速低于 160 km 以下的铁路隧道。

6.14.5 测绘隧道实际净空断面是隧道竣工测量的主要内容之一。该项工作在中线复测并设立永久中线点的水准点之后进行。在直线段每 50 m、曲线地段每 20 m 以及需要加测断面处定设中桩,并在边墙上标出相应的轨顶高程。断面点测量中误差是指测点位置至线路中线的距离精度。

隧道极坐标系具有自动化、精度高、劳动强度低的特点,因此优先使用隧道自动断面测量系统。测绘隧道的实际净空均以线路中线为准,并做好正式记录,绘出断面图,作为竣工资料,断面图反映断面所在线路里程、设计断面线、实测断面线等内容。必要时标示设计断面线与实测断面线之间的法线距离。

6.15.4 在建立隧道施工独立控制网时,成果资料提交应包含以下内容:

(1)技术报告:包括概述(隧道名称、进出口里程及长度、平面形状及辅助坑道分布、测量依据)、采用的技术标准与坐标系统(GNSS 测量应提供参考椭球及其基本参数、隧道中央子午线经度值等,施工独立坐标系的建立方法与相关参数、施工控制网投影面

高程)、施测概况(布网情况、施测日期、施测方法、仪器型号)、数据处理(平差)方法、测量设计方法(控制网与定测线路中线的关系、辅助坑道理论坐标计算方法说明、隧道进出口断高处理说明、横向贯通误差预计与高程贯通误差预计方法说明)、特殊情况及处理结果和注意事项。

(2)测量成果:GNSS点、导线点的坐标、边长及方位角成果表。

(3)平差报告:角度、边长和高程观测精度及计算方法、平差后精度。GNSS控制测量应提供独立基线闭合差检验计算结果、外部检测比较和联测比较结果、基线向量及其改正数、WGS-84下的三维坐标及精度。

(4)进洞关系及其示意图。

(5)洞外控制测量误差引起的洞外贯通误差预计值和洞内测量设计。

(6)洞外控制测量布网及线路关系(里程及曲线要素)示意图。

(7)点之记。

隧道贯通测量后应提交实测贯通误差值、贯通误差调整方法与结果,控制点与线路中线、隧道衬砌特征点的相对关系。

7.1.1 一般桥涵测量与复杂特大桥及重要大桥测量既有共性也有差异,为了区分两者在技术方法上的不同要求,遵循以下基本原则:凡专属于一般桥涵测量或者复杂特大桥及重要大桥测量的技术要求均予以明确规定,同时适用于一般桥涵测量和复杂特大桥及重要大桥测量的技术要求则应根据具体工程的特点及勘测设计的实际需求合理选用。

7.1.4~7.1.6 本规范第1.0.3条规定桥梁测量可采用施工独立坐标系。考虑到桥梁工程的独立性,可在不同勘测阶段根据工程需要选用合适的坐标系统。初测、定测阶段的测量工作主要为桥梁设计服务,因此可按第1.0.3条选用线路独立坐标系,或建立桥梁独立坐标系统,并与线路坐标系进行实地联测。必要时,如桥位

选定和平面布置涉及重大建筑物位置、突出地形、有关地区总体规划等,勘测设计中需要进行全盘考虑,且有利于充分利用已搜集资料,并可节省工作量时,才与国家统一坐标系或地方坐标系进行联测。

补充定测阶段测量系指在初步设计文件审查后进行,精度要求比初测、定测阶段提高,其主要目的和任务是为桥梁工程施工图设计及施工放样服务,因此这阶段的测量工作在满足施工需要的桥梁施工独立坐标系中进行。但必须与初测、定测阶段所采用的坐标系统建立关联。为了工程施工方便,可选用桥址里程坐标系统。

7.1.7 桥址中线里程可采用假设里程,以桥址控制中起始点一岸靠近正桥的控制点定为桥址中线里程起算点,可以保持勘测设计各阶段在同一桥位的起点里程基本一致,不致产生大的差异,有利于桥式选择和定位测量。为了全线贯通的需要,桥址假定里程必须与线路里程进行联测,以取得换算关系并确定其连续里程。

7.1.8 由于桥面系高程设计与线路上部建筑高程设计必须保证相互衔接,因此桥梁、线路测量采用统一的高程系统,进行桥址水准点和线路水准点的相互联测,取得两者采用不同高程系统的换算值,以利设计工作的进行。

桥梁平面控制点亦需与两端线路控制网进行联测,并取得中线里程连接关系。勘测设计阶段桥梁中线里程一般采用假定里程,初测、定测和补充定测保持连贯。通常桥址选线或定测在前,线路接线或定测在后,桥梁测量提供中线控制桩位置和假设里程,线路测量提供相互里程关系。公路铁路两用桥或桥梁与当地其他工程设施有关时,则与国家或地方控制点进行联测,以确定平面关系。

铁路桥梁高程不仅与两端线路高程发生关系,而且与水文、航运、堤防等有关工程有密切关系,较复杂的桥梁牵涉部门更多,因此桥梁水准点需与有关单位的可靠水准点直接联测。两个高程系统之间,在不同地点的高程换算值亦不尽相同。通过联测(包括跨

河水准测量)确定有关水准点的高程关系,即不同系统高程换算值,达到:(1)避免高程值由于水准点变形、位置变动或错找位置而发生错误;(2)统一各有关单位水准点高程系统值,并检核其互差是否符合要求;(3)确保桥梁工程的相对精度要求。所确定的高程关系,应与线路测量采用的关系值一致,保证桥梁与线路高程关系不出差异。

7.2.1 根据《铁路基本建设项目预可行性研究、可行性研究和设计文件编制办法》的规定,初测、定测和补充定测阶段测量分别指为了满足可行性研究、初步设计和施工图设计的需要而进行的测量。

7.2.10 GNSS测得的高程为GNSS点在WGS-84坐标系中的大地高 H ,而桥梁勘测所用的地面高程是相对于似大地水准面的正常高 $H_{\text{正}}$,两者之间的差值称为高程异常。经过GNSS网的三维平差,可获得各点的大地高 H ,如果在其中一些点上同时进行水准联测,得到这些点的正常高 $H_{\text{正}}$,则可求出该点的高程异常 ξ ,用公式可表示为

$$\xi = H - H_{\text{正}} \quad (\text{说明 } 7.2.10-1)$$

目前,通常采用二次曲面函数对高程异常进行曲面拟合,设测点的 ξ_i 和 x_i, y_i 存在如下函数关系:

$$\xi_i = f(x_i, y_i) + \varepsilon_i \quad (\text{说明 } 7.2.10-2)$$

式中 $f(x_i, y_i)$ ——趋势值;

ε_i ——误差。

可选用空间曲面表达式:

$$f(x, y) = b_0 + b_1x + b_2y + b_3x^2 + b_4xy + b_5y^2 \quad (\text{说明 } 7.2.10-3)$$

可以看到,在采用二次曲面拟合时,至少有6个GNSS水准点,当少于6个时,此时拟合模型为

$$f(x, y) = b_0 + b_1x + b_2y \quad (\text{说明 } 7.2.10-4)$$

对每一个已知点,都可列出以上方程,在 $\sum \varepsilon^2$ 为最小值条件

下,解出 b_i ,再按式(说明 7.2.10—2)求出待定点的高程异常 ξ_i 。

还有很多其他的数值拟合模型,像移动法曲面拟合、绘等高直线图法、解析内差法、滤波推估法。

就目前使用情况来看,利用 GNSS 来进行高程拟合可以满足五等水准测量的要求,在地势平坦的地区可以达到四等水准测量的精度,但是 GNSS 高程拟合目前还只是一种研究上的尝试,还不能代替传统的水准测量,仍然存在许多需要探讨和完善的地方。

7.3.5 水文断面主要指流速测量断面,为了正确观测计算通过桥址的流速、流量,宜利用桥址纵断面作为水文断面进行断面测量、流速观测、流量计算等。

当需要进行河段水文试验时,水文断面的间距根据铁路线路纵断面设计、路堤防护工程的需要和现场可能的条件等情况确定。为了便于现场掌握,考虑到我国有些人烟稀少的边远地区实际情况,如规定断面间距太近,调查洪水位确实困难,太远又难以反映实际情况。因此,规定了平原地区一般情况下的最大值为 10 km,山区为 5 km。这不是个严格要求,更不是说平原地区一般情况下都可以放宽到 10 km 一个水文断面,布设时仍要根据河流大小、洪水水位点的分布情况、水面坡度的大小等具体情况综合确定。

7.3.6 在初测阶段桥位方案比较中有多个桥址,而在桥位方案比较中各个桥址比较接近,水文变化不太大,则无必要每个桥址设立基本水尺,可在主要桥址断面处设立基本水尺。即在比较中各方面因素较优、水文条件较有代表性的 1~2 个桥址才设立基本水尺。

当桥址处河段水面纵向、横向坡度较大时,对于河床形态有较大影响。为研究河床冲淤变化、流量分布等必需时,则设立纵、横比降水尺。

7.3.9 潮水河流系指一般距海口较远的桥渡、潮汐涨落较平缓的河流,是相对于第 7.3.11 条潮汐影响较大的桥渡而言的。

7.3.11 潮汐是由月球和太阳的引力作用引起的海面升降运动,

在一般情况下每个潮日有两次涨落,每月(农历)有两次大潮期和两次小潮期以及介于其间的四次中潮期(即寻常潮)。在汛期,洪水与潮流相遇,又有不同的组合,随着潮差大小和内河径流大小的变化而不同,情况复杂多样。

与第 7.3.9 条所述潮水河流测速要求不同,对潮汐影响较大的桥渡根据本条要求进行潮汐测量。主要是不同潮流期及潮水与洪水遭遇时的断面潮水流速变化和相应潮水位的观测。

7.3.12 断面特征主要指测流断面(主要桥址断面)过水部分河床形态的不同,如浅滩、深槽、浅滩到深槽变化的结合部及河叉等。据此划分不同代表部位,以利各部位分别而又同时进行潮速观测、潮量计算。

自“落憩”至“涨憩”计算的潮量为涨潮量,自“涨憩”至“落憩”计算的潮量为落潮量。

同一潮流期内,落潮量减去涨潮量为正值即为净泄量,为负值则为净进量。

7.3.13 流向测量在于全面观察水流在桥址区变化情况,并通过图解法求得水流总流向与桥址中线的法线的交角,一般用浮标法施测。施测当时的风力、风向、水位(有不同流速)会影响浮标的走行,按规定配合进行水位、风力、风向的观测,做好记录。浮标类型和投放方法亦对浮标走行有影响,需妥为选择。

如桥渡区(有多个比较桥位)河段弯曲,为了解水流态势,或沿河堤坝、导流防护等建筑物对水流影响较大,施测范围则增大,测段长度按实际情况和水文分析需要确定,有时上游要求不小于 3 个河弯。如桥址区河段顺直,只为求得水流总流向与桥址中线的法线间交角,施测范围可减少,测段长度足够图解法应用即可。

7.3.15 设计水位、历史洪水位的高程和水面坡度,尽量收集既有水文资料加以整理。绘制的方法可采用洪水断面水力计算法、水位相关法、回水曲线法等,但必须在现场进行核对。

洪水持续时间较长的河流要考虑波浪侵袭的影响。波浪侵袭

高的大小与风速、风向、浪程、水深、自然环境、岸坡粗糙度和透水性有关,其高度为从静止水位算起至波浪卷爬最大高度的高程差。

7.6.1 本条系按桥梁结构施工放样的精度要求来确定桥梁施工平面控制网的必要精度。

控制测量误差、施工放样误差和施工建造误差共同组成工程建筑物的总误差。从施工中放样精度要求最高的几何位置中心的容许误差来分析桥梁控制网必要的精度,如对一般的梁式桥梁而言,施工精度要求最高的是桥墩(台)中心的几何位置;对悬索桥施工而言,位置要求最高的是散束鞍和主鞍座中心的几何位置;对斜拉桥施工而言,位置精度要求最高的是塔上和梁上斜拉索套管后锚点的几何位置。具体实施时,设这些放样精度要求最高的几何位置中心的平面容许误差为 M ,取总误差的 0.4 倍作为控制点引起误差的限值,即控制点坐标容许误差为 m_x (或 m_y) $\leq 0.4M$ 。根据桥梁控制网点位误差对放样点位精度不发生显著影响的原则和控制网边长误差对放样点位的最大影响等于边长误差,计算控制网最弱边的边长中误差和最弱边的相对中误差:

$$\begin{aligned} \text{按 } S_{12}^2 &= (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 \text{ 两边求微分得} \\ dS_{12} &= \cos\alpha_{12}(dx_2 - dx_1) + \sin\alpha_{12}(dy_2 - dy_1) \end{aligned}$$

(说明 7.6.1—1)

按误差传播定律有

$$m_{S_{12}}^2 = \cos^2\alpha_{12}(m_{x_1}^2 + m_{x_2}^2) + \sin^2\alpha_{12}(m_{y_1}^2 + m_{y_2}^2)$$

(说明 7.6.1—2)

将 $m_{x_1} = m_{y_1} = m_{x_2} = m_{y_2} = 0.4M$ 代入,得

$$m_{S_{12}} = \sqrt{2}m_{x_1} = \frac{2\sqrt{2}}{5}M \text{ 和 } \frac{m_{S_{12}}}{S_{12}} = \frac{2\sqrt{2}M}{5S_{12}}$$

(说明 7.6.1—3)

7.6.2 跨河正桥施工平面控制网的测量等级与跨河桥长、大跨径桥梁的主跨跨距及桥型桥式、施工精度要求等因素密切相关。其中,施工精度要求与桥型桥式有关,同时还与铁路类型(客货共线

铁路、重载铁路、城际铁路)、轨道结构(无砟、有砟)和速度目标值有关。因此,控制网等级应根据以上各种因素及第 7.6.1 条估算出的必要精度经过综合分析和设计后确定。表 7.6.2 规定了跨河正桥施工平面控制网测量等级的最低标准,实际工作中可根据跨河桥长 L 和斜拉桥、悬索桥等大跨径桥梁主跨 L_1 按该表选定相应的测量等级(最低精度等级),取跨河桥长 L 和斜拉桥、悬索桥等大跨径桥梁主跨 L_1 选定定级的高者作为控制网的基本等级,并结合各种因素综合确定控制网的实际施测等级。

7.6.3 本条是对第 7.6.2 条桥梁施工平面控制网测量方法以及各种方法对应的测量等级的具体规定。桥梁施工平面控制网优先采用 GNSS 静态测量方法,也可采用导线测量、三角形网测量方法施测,还可以采用上述方法中的两种或三种方法的组合方法(规范条文中称其为综合测量方法)施测,如首级控制网采用 GNSS 静态测量方法,而局部短边加密控制网采用精密导线测量或三角形网测量方法施测。各等级施工平面控制网测量的技术要求按本规范第 3 章的有关规定执行,具体而言,以上三种测量方法的技术要求分别按本规范第 3.2 节“卫星定位(GNSS)测量”、第 3.3 节“导线测量”和第 3.4 节“三角形网测量”的有关规定执行。

7.7.1 施工高程控制网中跨河测量的精度要求说明如下:

水中桥墩高程系由一岸水准点(A 或 B)引测而得,设一岸水准点为已知点,高程无误差;施工放样中精度要求最高的结构部位的高程容许误差为 Δ_H 。根据条文说明第 7.6.1 条中的原则与规定,则有两岸跨河水准点的高程中误差(m_A 或 m_B)不大于 $0.4 \times \left(\frac{\Delta_H}{2}\right) = 0.2\Delta_H$ 。因此,以两跨河水准点间高差中误差不大于 $0.2\Delta_H$ 的要求来规定施工高程控制测量的精度。

7.7.2 按照《铁路桥涵工程施工质量验收标准》TB 10415 的规定:混凝土墩台支承垫石顶面高程允许偏差为 $-15\text{ mm} \sim 0\text{ mm}$,我们取其高程中误差为 7.5 mm ,则两岸跨河水准点间高差的中误

差不大于 $0.4 \times 7.5 = 3$ mm。设每千米水准测量高差中数的偶然中误差为 m_0 ，跨河距离为 $S(\text{km})$ ，则有

$$m_0 \sqrt{S} \leq 3, \text{ 即 } S \leq \frac{9}{m_0^2} \quad (\text{说明 } 7.7.2)$$

按式(说明 7.7.2)估算,对于一等跨河水准, $m_0 = \pm 0.45$ mm, 则要求 $S \leq 44$ km; 对于二等跨河水准, $m_0 = \pm 1$ mm, 则要求 $S \leq 9$ km; 对于三等跨河水准, $m_0 = \pm 3$ mm, 则要求 $S \leq \frac{9}{3^2} = 1$ km。

根据理论估算结果,结合工程实际情况,并综合考虑铁路轨道结构的类型和列车行车速度等多种因素,制定出规范中表 7.7.2 跨河正桥施工高程控制测量等级的规定。

7.7.3 桥墩较高、岸坡较陡、水面较窄时,可根据桥墩施工过程中每阶段的高程观测需要,在陡坡上一定高差内加设辅助水准点,其作用是临时性的,精度可较低,一般只需满足桥墩基础或墩身圬工部分浇筑过程中的精度要求。

水面较宽亦具上述情况时,由于水上桥墩往往同时动工,相距较近,施工过程中高低进度不一,有时且需在桥墩某一高度上加设辅助设备,陡坡上加设的辅助水准点常起临时传递高程的作用,成为精度稍低的跨河水准测量的依据点,精度要求较高。

辅助水准点的稳固程度可参照普通水准点或临时水准点要求埋设,同时注意加强相应的检测。

7.8.2 复测后控制点的稳定性分析包括两部分。首先是对控制网起算点的稳定性分析,目的是确定控制网的可靠基准,桥梁施工控制网一般采用固定基准;其次是在已选定的坐标或高程基准的基础上,对网中其他施工控制点进行点位稳定性分析和评价,确定出稳定点和不稳定点。

控制点稳定性分析可以采用现场勘验和统计检验相结合的方法进行。所谓现场勘验是指在现场仔细察看控制点标石外观及标石周围地面的变形情况,对控制点的稳定性作出初步的定性评估

和判断。统计检验则是在现场勘验的基础上,借助假设检验的数学方法对控制点稳定性做进一步的分析和评价。

当有多期测量数据可以利用时,宜采用统计检验的方法进行控制网稳定性的全面分析和评价。当利用前、后两期数据进行分析时,可按如下简便原则来评定控制点的稳定性:当控制点坐标或高程的较差值小于 $2\sqrt{m_1^2+m_2^2}$ 时,认为该点位移或沉降不显著,并确定为稳定点;否则为不稳定点。

复测后,根据控制点稳定性情况提出对不稳定控制点的保护、加固及进一步监测的建议和措施,以满足桥梁工程长周期、高精度施工的需要,确保施工质量。

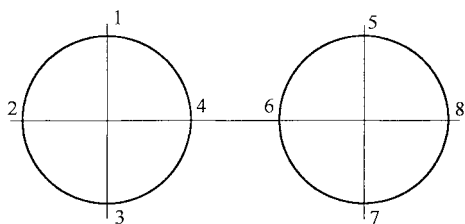
7.9.1 本条规定:当施工控制点密度不能满足施工定位放样需要时,应在施工控制网基础上采用 GNSS 静态测量、导线、三角形网测量方法进行加密。具体的加密方法可分为同级同精度加密和降级加密两大类,实际工作中可根据施工定位放样的精度要求选择适当的方式。如在首级控制网基础上建立斜拉桥、悬索桥施工专用控制网时,应采用同精度加密,甚至应以更高的相对精度要求进行施测;如加密控制网的作用在于进行精度要求较低的工程施工放样时,则可在首级控制网基础上降低 1~2 个等级进行加密测量,具体的精度等级取决于施工放样的精度要求。

7.9.16 海中分离式承台的轴线点放样后,可参照说明图 7.9.16 对轴线点的相对位置关系进行点位校验:

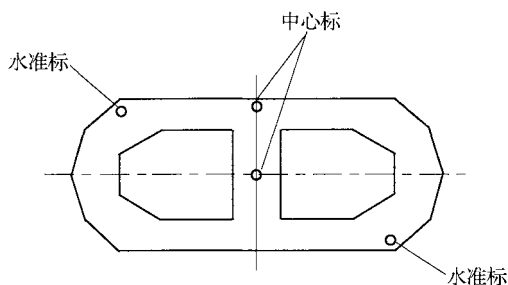
(1)中心线上的“2、4、6、8”四点应成一直线,可用细线绳绷直检验。

(2)用钢尺丈量 1~5 与 3~7 之间的距离,并与设计值比较。

7.9.17 桥墩顶面中心标和水准标的埋设位置可参照说明图 7.9.17 办理。图中,中心标位于墩顶桥梁中线上,水准标分列于墩顶上、下游两侧。



说明图 7.9.16 海中承台轴线放样示意图



说明图 7.9.17 预埋点示意图

7.9.19 架梁前在墩(台)顶上放样出的支座十字线及梁端轮廓线,其距离和垂直度限差为 1 mm。墩顶支承垫石面高程限差为 $-10\text{ mm}\sim 0\text{ mm}$;锚栓孔尺寸的允许偏差为 $0\text{ mm}\sim +30\text{ mm}$,锚栓孔深度的允许偏差为 $-20\text{ mm}\sim 0\text{ mm}$ 。

7.9.24 全站仪三角高程差分法是利用观测视线附近的高程基准点,通过对单向三角高程进行求差的方法,以削弱或消除地球曲率和大气折光对三角高程测量结果的影响。使用该方法传递高程时无需进行对向观测,可有效提高高程传递的精度和效率,广泛适用于观测点(高程待定点)无法安置仪器的高程传递测量。

在斜拉桥主塔塔柱高程基准传递中,通常将塔座上的水准基点作为相对基准点,用水准或对向三角高程的方法精密测定其高

程。放样时可在主塔附近的边墩上架设全站仪,以索塔相对基准点作三角高程后视,实时观测塔柱上的棱镜(前视),求得塔柱观测点(待测点)相对于相对基准点的高差。由于观测视线所通过的环境与后视基本相同,大气垂直折光误差可基本消除。同时,仪器高完全相同,求差后也得以消除。如果采用定高的前、后视,则相对基准点至塔柱观测点的高差中只剩下测距和测角误差的影响了。

三角高程单向观测高差计算公式为

$$h = S \cdot \sin\alpha + \frac{1-K}{2R} (S \cdot \sin\alpha)^2 + i - v$$

(说明 7.9.24)

式中 S ——斜距;

α ——垂直角;

K ——大气折光系数;

i ——仪器高;

v ——棱镜高。

现代全站仪测角和测距精度都很高,若用 TCA1800 仪器的精度($1''$, $1 \text{ mm} + 2 \times 10^{-6} D$)估算,理论上当观测距离为 500 m 时可达达到优于 $\pm 3 \text{ mm}$ 的高程精度。此法可以完全替代水准仪配合长钢尺的方式传递高程。

7.9.27 转体桥都是位于主要铁路、公路干道、重要建筑物附近,从转体桥的基础施工前就必须进行变形监测;施工中的球铰、上下转盘、球铰环形滑道、撑脚等安装精度要求高,需要高精度测量仪器,并加入温度、气压等气象元素改正。

7.9.28 下球铰骨架安装要求骨架顶面相对高差 $\leq 5 \text{ mm}$,施工时易采用提高安装球铰定位骨架的精度方法,以减少下球铰安装时的调整工作量,球铰定位骨架通过调整地脚螺栓的高度快速获取,施工中提高至 $\leq 2 \text{ mm}$,骨架中心定位偏差 $\leq 1 \text{ mm}$ 。精确调整到位后将骨架与定位钢板焊接牢固。

球铰高程由螺母调整校平,顶面任意两点的高程差不大于

1 mm;平面中心采用坐标放样法,现场采用“边测边调,现场监督”的控制方法,球铰转动中心务必位于设计位置,其误差:顺桥向不应超过 ± 1 mm,横桥向不应超过 ± 1.5 mm。

环形滑道安装时应根据其结构进行分段、设置吊点,防止吊装过程中变形;环道应与撑脚位置对应呈同心圆环形,环道钢板通过预埋钢筋或定位骨架预埋在下转盘,环道设置微调装置,高程通过调节螺栓精确调整实施,定位高程偏差不应大于 1 mm,任意 3 m 弧长滑道的高差不大于 1 mm,平整度不应大于 0.5 mm/m,达到要求后采用螺栓拴紧。

撑脚与环道之间的间隙不能过大也不宜过小。间隙过大,当结构失去平衡时起不到稳定作用;间隙过小,在转体前的施工过程中若几何尺寸控制不严,致使结构重心的实际位置与理论计算位置有明显出入,平转过程中局部撑脚顶住环道,造成环道变形、转动困难等问题,一般要求转体结构在托架后,撑脚与环道之间有 15 mm 左右的间隙较好。

千斤顶的安装应与钢绞线方向一致,前、后千斤顶进油嘴和回油嘴与泵站的油嘴必须对应;两端牵引时,左、右两条顶推线应横向同步运行,千斤顶均应沿水平线同步运行、同时受力。

7.9.29 监控人员根据转体梁的进度调整转体梁的转动速度,在桥面中心轴线合龙前 1.5 m 以内开始给控制台倒数报告监测数据,每 10 cm 报告一次;在 20 cm 内,每 1 cm 报一次;当主梁端部即将到达设计位置前 10 cm 时,采用点动操作,利用试转取得的点动数据,通过测量转体梁端部到设计位置的實際弧线长,确定点动次数,点动时间为 0.2 s 一次,每次点动千斤顶行程为 1 mm,换算梁端行程。每点动操作一次,测量人员测报轴线走行现状数据一次,反复循环,直至转体轴线精确就位达到设计要求。

梁体转体就位后,应对转体梁轴线、线形、高程以及梁体的横向倾斜度进行全方位测量检查,检查结果要考虑温度的影响。对有轻微倾斜的梁体,通过在桥轴线两侧对称于转盘中心位置的上、

下承台间设置的微调千斤顶精确调整梁体整体横桥向的倾斜及纵桥梁高程。

8.1.1 铁路工程线路长,路基、桥梁、涵洞、隧道工程量大,沿线复杂地质条件对工程建设影响大,此外铁路工程的施工对周边管道、桥梁等建筑物也会产生影响。建(构)筑物在施工期和运营期的变形监测,是建设项目的必要环节,其目的是为项目的施工安全和运营安全提供监测预报以及为工程稳定性评估提供基础数据。因此,本条规定铁路工程变形测量应按照设计文件的要求开展。

8.1.3 变形监测工作精度要求高,受施工干扰大,因此要求在变形监测工作开展以前由监测单位制定详细的监测方案,确保变形监测工作的顺利实施。

初始状态的观测数据,是指监测体未受任何变形影响因子作用或变形影响因子没有发生变化的原始状态的观测值。该状态是首次变形观测的理想时机,但实际作业时由于受各种条件的限制,较难把握。因此,首次观测的时间,选择尽量达到或接近监测体的初始状态,以便获取监测体变形全过程的数据。

8.1.4 随着电子技术、激光测量技术及遥感技术的发展,传感器和近景摄影测量、三维激光扫描测量技术在变形监测中已得到应用。基于此,增加了一些新的测量方法和物理的监测方法。

8.1.6 变形监测点的分类是按照变形监测精度要求高的特点,以及标志的作用和要求的不同而确定的。本规范将其分为三种:

(1)基准点是变形监测的基准,点位要具有更高的稳定性,且须建立在变形区以外的稳定区域。其平面控制点位一般要有强制归心装置。

(2)工作基点是作为高程和坐标的传递点使用,在观测期间要求稳定不变。其平面控制点位也要具有强制归心装置。

(3)变形观测点直接埋设在能反映监测体变形特征的部位或监测断面两侧。要求结构合理、设置牢固、外形美观、观测方便且

不影响监测体的外观和使用。

8.1.7 关于变形监测的等级划分及精度要求:

(1)变形监测的精度等级,是按变形观测点的水平位移点位中误差、垂直位移的高程中误差或相邻变形观测点的高差中误差的大小来划分的。它是根据我国变形监测的经验,并参考国外规范有关变形监测的内容确定的。其中,相邻变形观测点的高差中误差指标,是为了适合一些只要求相对沉降量的监测项目而规定的。

(2)变形监测分为四个精度等级,一等适用于高精度变形监测项目,二、三等适用于中等精度变形监测项目,四等适用于低精度变形监测项目。变形监测的精度指标值,综合了设计和相关施工规范已确定了的允许变形量的 $1/20$ 作为测量精度值,这样,在允许变形范围之内,可确保建(构)筑物安全使用,且每个周期的观测值能反映监测体的变形情况。

8.1.11 变形监测基准网复测的目的,是为了检验基准点的稳定性和可靠性。由于自然条件的变化、人为破坏等原因,不可避免地有个别点位会发生变化,为了验证基准网点的稳定性,必须对其进行定期复测。

8.2.2 水平位移监测基准网测量的主要技术要求:

(1)相邻基准点的点位中误差,是制定相关技术指标的依据。它也和表 8.1.7 变形观测点的点位中误差系列数值相同。但变形观测点的点位中误差,是指相对于邻近基准点而言;而基准点的点位中误差,是相对于相邻基准点而言。理论上,监测基准网的精度采用高于或等于监测网的精度,但如果提高监测基准网点的精度,无疑会给高精度观测带来困难,加大工程成本。故采用相同的点位中误差系列数值。换句话说,监测基准网的点位精度和监测点的点位精度要求是相同的。

(2)关于水平位移变形监测基准网的规格。为了让变形监测的精度等级(水平位移)一、二、三、四等和工程控制网的精度等级系列一、二、三、四等相匹配或相一致,仍然取 $0.7''$ 、 $1.0''$ 、 $1.8''$ 和

2.5"作为相应等级的测角精度序列,取 1/300 000、1/200 000、1/100 000和 1/80 000 作为相应等级的测边相对中误差精度序列,取 12、9、6、4 测回作为相应等级的测回数序列,取 1.5 mm、3.0 mm、6 mm 和 12 mm 作为相应等级的点位中误差精度序列。

要说明的是,相应等级监测网的平均边长是保证点位中误差的一个基本指标。布网时,监测网的平均边长可以缩短,但不能超过该指标,否则点位中误差将无法保证。平均边长指标也可以理解为相应等级监测网平均边长的限值。以四等网为例,其平均边长最多可以放长至 600 m,反之点位中误差将达不到 12.0 mm 的监测精度要求。

(3)关于水平角观测测回数。对于测角中误差为 1.8"和 2.5"的水平位移监测基准网的测回数,采用相应等级工程控制网的传统要求,见本规范第 3 章。对于测角中误差为 0.7"和 1.0"的水平位移监测基准网的测回数,分别规定为 12 测回和 9 测回(1"级仪器),主要是由于变形监测网边长较短,目标成像清晰,加之采用强制对中装置,根据理论分析并结合工程测量部门长期的变形监测基准网的观测经验,参照《工程测量规范》GB 50026—2007 制定出相应等级的测回数。

8.2.5 关于垂直位移监测基准网的主要技术要求:

(1)相邻基准点的高差中误差,是制定相关技术指标的依据。它也是和表 8.1.7 中变形观测点的高程中误差系列数值相同。但变形观测点的高程中误差,是相对于邻近基准点而言,它与相邻基准点的高差中误差概念不同。

(2)每站高差中误差,采用本规范传统的系列数值,经多年的工程实践证明是合理可行的,它保证了各级监测网的观测精度。

(3)取水准观测的往返较差或环线闭合差为每站高差中误差的 $2\sqrt{n}$ 倍,取检测已测高差较差为每站高差中误差的 $2\sqrt{2}\sqrt{n}$ 倍,作为各自的限值,其中 n 为站数。

8.2.6 垂直位移监测基准网水准观测的主要技术要求参照《工程测量规范》GB 50026—2007 制定。

8.3.1 本条列出了不同监测类别的变形监测方法。具体应用时,要根据监测项目的特点、精度要求、变形速率以及监测体的安全性等指标,综合选用。

8.3.2、8.3.3 三角形网、交会法、极坐标法,是水平位移观测常采用的方法。

8.3.4 视准线法主要用于单一方向水平位移测量,本条给出了作业的具体要求。

8.3.5 正垂线法可在高桥墩和斜拉桥塔体挠度观测中采用。对正垂线的主要构成和要求如下:

(1)正垂线由悬线装置、不锈钢丝或不锈钢因瓦丝、带止动叶片的重锤、阻尼箱、防锈抗冻液体、观测墩、强制对中基座、安全保护观测室等组成。

(2)悬挂点要考虑换线及调整方便且必须保证换线前后位置不变;观测墩宜采用带有强制对中底盘的钢筋混凝土墩,必要时可建观测室加以保护;不锈钢丝或不锈钢因瓦丝的极限拉力大于重锤重量的2倍;在竖井、野外等易受风影响的地方,设置直径大于100 mm的防风管。

(3)重锤重量一般按式(说明8.3.5)确定:

$$W > 20(1 + 0.02L) \quad (\text{说明 } 8.3.5)$$

式中 W ——重锤重量(kg);

L ——测线长度(m)。

8.3.6 激光测量技术,在变形监测项目中有所应用。基于安全考虑,要求在光路附近设立安全警示标志。

8.3.8 裂缝观测主要是测定监测体上裂缝的位置和裂缝的走向、长度、宽度及其变化情况,其是变形监测的重要手段之一。裂缝的变化情况可局部反映监测体的稳定性或治理的效果。裂缝观测要细心进行,尽量减少不规范量测所带来的影响。

8.3.9 自动跟踪测量全站仪是全站仪系列中的高端产品,在大型工程中已得到较为广泛的应用。反射片通常用于较短的距离测量,其精度可满足普通精度的变形监测的需要。鉴于变形监测的重要性,要求数据通信稳定、可靠,故数据电缆以光缆或专用电缆为宜。

8.3.10 摄影测量是变形监测较常使用的方法之一,无论是对单体建筑物的变形监测,还是对较大面积的山体滑坡监测,都有所应用。

8.3.11 卫星实时定位(GNSS RTK)技术,主要适用于变形量大、需要连续监测、适时处理数据、即时预报的监测项目。

8.4.1 本条把滑坡变形监测纳入路基变形测量中是因为路基高边坡变形监测与滑坡监测的方法和原理是一致的。

8.4.2 路基变形测量观测断面和观测点的布置在施工图设计中根据路基地段地形、地质条件、地面环境、填挖断面和施工方法进行设计确定。

8.4.4 路基沉降监测的精度指标值是按照允许变形量的 $1/20$ 作为测量精度值来确定的。

8.4.5 本条按滑坡体的性质,将其分为岩质滑坡和土质滑坡两种,分别按水平位移、垂直位移和地表裂缝给出了相应的监测精度指标。

8.5.1 桥梁的种类较多,主要以梁式桥、拱桥、悬索桥、斜拉桥为主。近年来,我国各种桥梁的建设速度发展很快,桥梁的变形监测是桥梁施工安全和运营安全必不可少的内容。本条按桥梁的类型分别列出了施工期和运营期的主要监测项目。

8.5.3 GNSS 测量、极坐标法、精密测(量)距、导线测量、前方交会法和水准测量是桥梁变形监测的常用方法。

8.5.4 温度因素是分析研究大桥结构及基础变形不可缺少的条件。因此,对重要的特大型桥梁有必要建立与变形监测同步的温度量测系统,以便掌握大桥及其基础内的温度分布与温度变化规

律。水位和流速、风力和风向等是引起桥梁变形的外界因素。

8.5.5 本条对桥梁变形监测点的布设作出了具体规定。

8.6.1 隧道工程的环境条件与地面工程全然不同,由于自然地质现象的复杂性、多样性,隧道工程变形监测对于指导施工、修正设计和保证施工安全及营运安全等方面具有重要意义。实践表明,如果对隧道的变形控制不力,将出现围岩迅速松弛,极易发生冒顶塌方或地表有害下沉,并危及地表建(构)筑物的安全。隧道变形监测项目和内容,在施工图设计中根据埋深、地质条件、地面环境、开挖断面和施工方法等因素综合确定。

8.6.2 隧道的结构、基础变形,与其埋设深度、开挖跨度、围岩类别、支护类型、施工方法等因素有关。地下建(构)筑物的监测精度,通常较地面同类建(构)筑物提高一个监测精度等级。隧道监测精度主要是根据铁路隧道设计和施工规范中初期支护相对位移允许值,并结合隧道工程变形监测的特点综合确定的。受影响的地面建(构)筑物的变形监测精度,是根据该建(构)筑物的重要性和变形的敏感性来确定的。

8.6.3 隧道变形监测的变形观测点布设和观测要求:

(1)隧道工程基准点的布设和地面的要求有所不同,根据地下工程的特点,给出隧道基准点的布设要求。

(2)隧道的变形观测点要求按断面布设在顶部、底部和两腰,这些都是监测体上的基本特征点。

(3)变形观测方法与地面的基本相同。收敛计适用于隧道衬砌结构收敛变形测量,作业时注意其精度须满足位移监测的要求。

8.6.4 隧道工程变形监测布设各种物理监测传感器(应力、应变传感器和位移计、压力计等)的目的,主要是为了监测不良地质构造、断层、衬砌结构裂缝较多部位和其他变形敏感部位的内部(深层)压力、内应力和位移的变化情况,为进一步治理和防范提供依据。

9.1.1 轨道控制网 CPⅢ是轨道施工的基准,其精度与质量直接影响轨道铺设的精度。因此要求轨道控制网 CPⅢ建网完成

后,应由第三方进行评估或由建设单位组织专家进行评审验收,经验收合格后才能开展轨道施工。

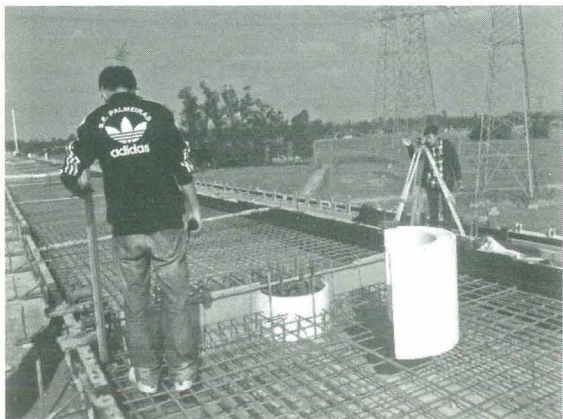
9.1.2 线下工程竣工测量成果评估应在第 5.10 节“线下工程竣工测量”的基础上,根据线路中线贯通测量的中线桩平面高程成果对线下工程的竣工中线平面高程与设计中线进行比较,利用线路横断面检查线下工程的建筑限界是否满足设计要求,侵界时应调整线路平纵面,尽量避免工程废弃。

9.1.3 不同铁路类型、轨道结构形式和速度目标值的静态轨道平顺度应满足现行《铁路轨道工程施工质量验收标准》TB 10413 的要求。该验收标准为基本要求,在实际轨道施工及轨道精调时,为提高列车运行时旅客舒适性,可根据施工现场实际情况对相邻轨距变化率、轨向、高低长短波(30 m 弦、300 m 弦)等指标提出更高要求。

9.2.1 无砟轨道混凝土底座及支承层利用线路两侧的 CPⅢ 控制点进行立模放样,平面放样采用全站仪坐标法,高程放样采用全站仪三角高程或几何水准测量法。使用全站仪进行立模放样时,全站仪采用半测回(一般为盘左)测量方式。无砟轨道混凝土底座及支承层放样如说明图 9.2.1—1、说明图 9.2.1—2 所示。



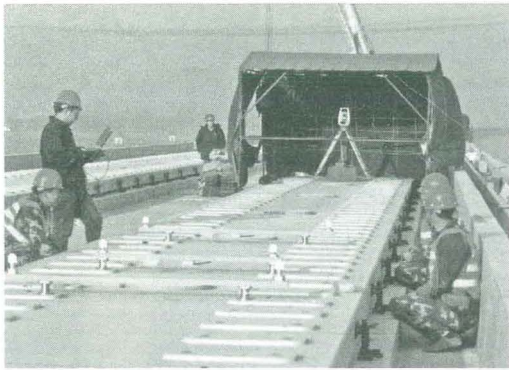
说明图 9.2.1—1 全站仪放样模板边线



说明图 9.2.1—2 水准仪测量模板高度

9.2.3 CRTS I 型轨道板安装定位(精调)宜采用标架法,以 CPⅢ 控制网为依据,对安置在轨道板上的定位棱镜进行测量,通过精调软件计算轨道板实际位置与设计的横向、竖向偏差,对轨道板进行多次调整,直到满足要求为止。

(1)CRTS I 型轨道板精调测量采用全站仪配合专用测量标架。常用的专用测量标架和测量方法为:专用测量标架采用螺栓孔适配器,上端安置定位棱镜,下端为锥形插入、环形接触的高精度定位装置。专用测量标架以轨道板螺栓孔作为定位基准,一般情况下螺栓孔测量标架应放置在轨道板的第二和倒数第二个承轨台,且靠近轨道板的起吊孔附近的螺栓孔。测量时采用全站仪对定位棱镜按顺序进行自动测量,并采用专用精调软件根据轨道板的板长和板间距等设计参数自动计算轨道板实际位置与设计位置间的横向、竖向偏差。然后根据偏差值进行反复多次调整,直到满足要求为止。采用螺栓孔测量标架进行 CRTS I 型无砟轨道板精调如说明图 9.2.3 所示。



说明图 9.2.3 螺栓孔测量标架轨道板精调示意图

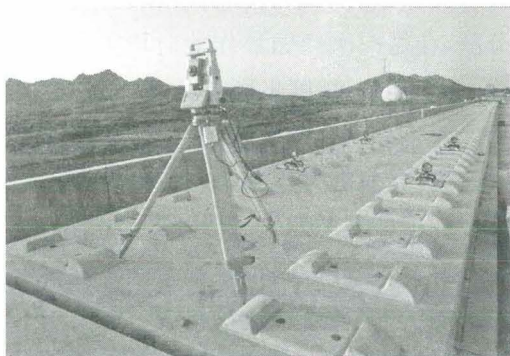
(2)因轨道板精调作业采用的精调定位棱镜至少 4 个,全站仪测量时棱镜中同一视场内出现多个棱镜,将影响棱镜识别或造成测量错误。因此,根据现场精调测量经验及精度要求规定:全站仪与精调定位棱镜之间的测量距离宜为 5 m~40 m。

9.2.4 CRTS II 型轨道板安装测量应采用专用轨道板精调系统,根据专用配套软件,控制全站仪自动测量各定位棱镜的距离及角度,计算轨道板实际位置与设计值的横向、竖向偏差,指导精调人员进行轨道板调整,直到满足要求为止。

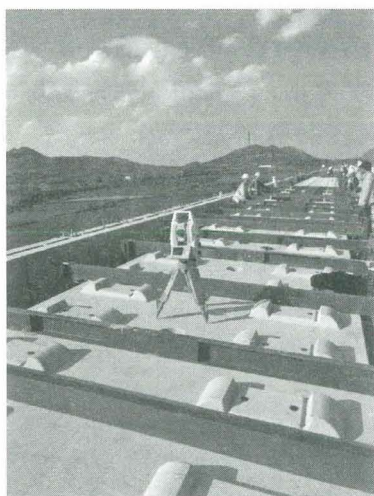
在京沪高铁等线路 CRTS II 型轨道板铺轨施工时,主要采用在 CP III 基础上测设轨道基准网(GRN),分别进行平面、高程测量,再以 GRN 网为依据采用专用工装进行 CRTS II 型轨道板铺轨。但在京沪线个别段落及其他 CRTS II 型无砟轨道线路,采用不测设轨道基准网而以 CP III 型控制网为基准直接进行轨道板铺设,取得了良好效果,满足工程质量验收和开通运营要求,同时节约了工程投资,缩短了轨道铺设工期。因此,本规范未作以 GRN 网为基准铺设 CRTS II 型无砟轨道的规定。

9.2.5 CRTS III 型轨道板安装测量宜采用承轨槽小钳口适配器或螺栓孔适配器等专用轨道板精调系统,根据专用配套软件,控制全站仪自动测量各定位棱镜的距离及角度,计算轨道板实际位置与

设计值的偏差,指导精调人员进行轨道板横向、竖向调整,直到满足要求为止。适配器安置在轨道板承轨台第二和倒数第二个位置,靠近轨道板的起吊孔附近。测量软件可根据轨道板的板长及板间距自动布设和施测适配器上的定位棱镜。采用专用承轨台或螺栓孔适配器进行 CRTSⅢ型无砟轨道板精调如说明图 9.2.5—1、说明图 9.2.5—2 所示。



说明图 9.2.5—1 承轨台小钳口适配器进行轨道板精调示意图



说明图 9.2.5—2 螺栓孔适配器进行轨道板精调示意图

9.2.6 轨排框架法与轨排支撑架法是 CRTS I 型双块式无砟轨道施工中常用的施工方法,但近年来一般采用轨排框架法。轨排框架法施工其主要设备轨排钢轨、支承系、双块式轨枕为一体,是标准轨道模式,完全体现轨道纵横断面的多项几何参数,其在施工精度和质量稳定性方面均优于轨排支撑架法,后期的扣件更换率相对较低,但其设备前期投入相对较多。轨排支撑架法施工的主要设备比较分散,在每一次新循环作业时均需与工具轨重新组合形成临时结构,作业复杂,精度不稳定。

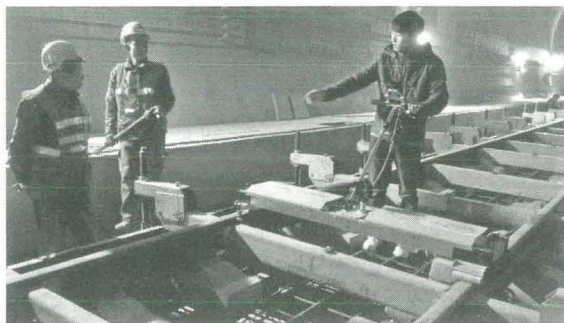
(1)CRTS I 型双块式无砟轨道的工艺原理是将轨枕按设计要求散布后,用工具轨完成轨排组装,使用高精度全站仪,配合轨道几何状态检测仪和螺杆调节器完成轨排最终精确定位,现场浇筑混凝土,从而使轨枕按设计空间位置永久固定在混凝土整体道床上。CRTS I 型双块式无砟轨道轨排粗调一般采用 L 道尺及水准仪或直接采用轨道几何状态测量仪等设备对轨排的平面位置及高程进行测量与调整,精调时则采用轨道几何状态测量仪对轨排平面位置及高程进行精确测量,并依据测量值与设计值的偏差进行调整,直到满足要求为止。轨排粗调如说明图 9.2.6—1 所示,轨排精调如说明图 9.2.6—2 所示。

(2)因采用全站仪配合轨道几何状态测量仪进行 CRTS I 型双块式道床板精调测量时,仅有一个定位棱镜安置在轨检小车上,全站仪同一视场内一般不会出现多个棱镜。因此,在保证测量精度的前提下,为提高测量效率,CRTS I 型双块式道床板精调测量时规定:全站仪与精调定位棱镜之间的测量距离宜为 5 m~60 m。

9.3.5 “保直股、兼曲股”的原则主要指道岔安装测量时先进行道岔主线直股测量,并以主线直股为基准,再进行道岔侧向测量。



说明图 9.2.6—1 采用 L 道尺进行轨排粗调示意图



说明图 9.2.6—2 采用轨道几何状态测量仪进行轨排精调示意图

9.4.1 轨道精调是根据轨道测量数据对轨道进行的精确调整,使轨道平顺度达到设计标准,满足验收标准要求。轨道精调不仅是技术问题,也是经济问题。因此,在轨道精调过程中不仅要考虑提高精调质量,还要做好施工组织安排,提高作业效率,降低成本,条

件允许时采用新工艺、新技术。

9.4.3 轨道精调工作是一个重要工序,直接影响列车运行的安全性和舒适性。因此,在轨道精调作业前应认真做好准备工作,轨道精调的具体准备工作有:

(1)轨道几何状态测量仪需录入的线路参数主要包含:线路起点里程、曲线半径、缓入缓出长度、交点(含起点)坐标、夹直线长度等平面曲线设计参数,变坡点里程、变坡点高程、竖曲线半径等纵断面设计参数,长短链,超高设置(以超高设置批复文件为准)等参数。

(2)精调前对全站仪进行检校的内容主要包含:全站仪的横轴、视准轴、 $2C$ 和 i 角的检验与校准。轨道几何状态测量仪检校的内容主要包含:轨距零位误差、轨距示值误差、超高零位误差、超高示值误差及棱镜偏移常数等项目。

9.4.5 无砟轨道精调测量前,为保证轨道测量数据的准确性与有效性,应重点进行钢轨、扣件、垫板、焊缝等部件的完整性与污染情况检查,确保钢轨无污染,无低塌、掉块、硬弯等缺陷;扣件系统安装正确,无缺少、损坏、偏斜、污染、空吊(间隙不大于 0.3 mm)。通过近年来国内几条无砟轨道线路长钢轨精调的实践证明,在长钢轨精调时第一遍采用轨道几何状态绝对测量仪依据 CPⅢ 轨道控制网对轨道几何状态进行逐轨测量,重点通过轨道平面、高程的绝对测量,分析和调整轨道长波不平顺,后续轨道精调测量采用相对(惯导小车)或其他设备进行轨道状态测量,可有效提高轨道测量效率及检测短波不平顺、轨距变化率的可靠性,提高轨道精调的总体质量。

9.4.7 “先整体、后局部”:主要是针对长波不平顺区段,根据采集数据的整体趋势图生成的波形,大致标出期望的线路走向和起伏状态,再分析局部线形,以“削峰填谷”的方式细化调整方案,确定轨道调整量。“先轨向、后轨距;先高低、后水平”:先调整基准轨轨向,后通过轨距调整来确定非基准轨轨向,使左右轨的轨向和轨道轨距

均满足要求;先调整基准轨高低,后通过水平调整来确定非基准轨高低,使左右轨的高低和轨道水平均满足要求。高低调整以低轨(内轨)为基准轨,轨向调整以高轨(外轨)为基准轨。首次轨道精调应根据线路走向进行大范围内调整,主要目的是调整长波不平顺性,相关指标进行严格控制。后续轨道精调可根据惯导轨检小车等轨道检查设备数据指标进行调整,满足数据指标即可。在动态检测阶段,应充分利用动态检测数据与结果,坚持“检重于调”的理念,根据轨检资料、添乘情况,确定晃车地点。现场进行认真检测,查找问题点、确定问题区段和调整方案后,方可开展调整。

9.5

本节内容主要规定了有砟轨道铺设期间的施工测量作业要求。有砟轨道铺设期的主要工作内容含线下工程施工完后的线路状态复核与确认,铺轨基桩测设,轨道铺设,直至使轨道初期整道结束,满足长钢轨精调作业条件为止。因此,本节主要内容为有砟轨道铺设等有关施工测量的技术要求。

9.5.1 有砟轨道铺轨前,应核实线路中线和高程贯通情况,检查路基宽度、桥梁、隧道和车站等建筑物是否满足限界要求,并测设中线桩位。

9.5.2 为保证有砟轨道铺设精度及质量,通常情况下有砟轨道铺设进行中线测设时应采用 CPⅢ 控制点为依据的全站仪坐标法。CPⅢ 控制网未测设完成时,为保证轨道施工工期,在轨道初铺阶段,也可采用 CPⅡ 控制点、线路水准基点为基准,采用全站仪坐标法进行轨道初铺。

9.5.3 轨道施工控制桩(铺轨基桩)一般设在路基两侧采用预埋混凝土桩的形式设置,左右线分别设置,接触网基础位置可直接设在接触网基础上。除道岔桩(岔前、岔后、岔心)、曲线控制桩、变坡点控制桩外,其余地段按一般固定间距设置铺轨基桩,对每个控制桩进行编号;通过 CPⅢ 测量每个铺轨基桩的平面坐标和高程,利用软件分析得出每个控制桩与对应位置轨道的横向和竖向偏差,以此作为铺砟、铺轨及整道作业的施工资料和检查依据。曲线地

段一般以低轨作为基准轨计算铺轨基桩对应里程的相对横向距离和相对高差。

9.5.5 在近年实际有砟轨道铺设工作中,有部分轨道施工单位针对设计速度不大于 120 km/h 的有砟轨道线路,采用 GNSS RTK 法测设铺轨基标,能满足有砟轨道铺设精度要求,同时也能有效提高作业效率,节约成本。

9.5.6 为方便有砟轨道后续精调及运营维护作业,按铁路运营维护部门要求,在轨道初期整道阶段一般轨面高程宜比设计值低 30 mm~50 mm。

为满足有砟轨道线路达到初期稳定状态,在轨道铺设及粗调阶段宜采用轨道几何状态测量仪等设备进行轨道状态检测,并为小机和大机作业提供轨道调整数据。该作业过程的全站仪设站和轨道几何状态测量仪作业参考有砟轨道精调测量作业技术要求。

9.6.2 本条主要对有砟轨道测量时全站仪自由设站进行了规定。

2 本款指全站仪自由设站观测和相邻测站重叠观测的 CPⅢ 最少个数。当 CPⅢ 成对布设时,全站仪自由设站观测的 CPⅢ 个数一般为 8 个(4 对),相邻测站重叠观测的 CPⅢ 个数一般为 4 个(2 对)。当 CPⅢ 为单侧单点布设时,全站仪自由设站观测和相邻测站重叠观测的 CPⅢ 个数宜满足本款规定。

3 当 CPⅢ 控制网采用单导线测设时,为提高测站间搭接精度,宜优先采用全站仪自由设站,因通常情况下能后视的已知点较少,仅能满足必要的自由设站条件,设站精度不能有效评价,故未作设站精度要求。仅对单导线的自由设站完成后的已知 CPⅢ 控制点平差计算残差及换站后站间搭接偏差作出规定。当单导线 CPⅢ 控制网不满足自由设站条件时,全站仪也可安置在就近已知 CPⅢ 控制点上,后视相邻距离较远的 CPⅢ 控制点,且用相邻另一个 CPⅢ 控制点进行全站仪设站检核。

9.7.1 传统的有砟轨道精调一般采用测设轨道控制基标法,在轨道中心或轨道外侧布设轨道控制基标。轨道精调时以控制基标为

依据,通过 L 型轨道检查尺、电子道尺或 T 型尺等工具测量基桩与轨道中心的几何关系,以此计算轨道中线平面位置、高程与设计值的偏差,为大机提供拨道量与起道量,再进行轨道调整。该方法操作简便,但轨道测量精度低,特别是不能有效进行轨道平顺性的检测与控制。近年来,随着轨道几何状态测量仪等轨道检查设备的研究与应用,可有效提高轨道精调质量。有砟轨道精调应采用轨道几何状态测量仪,特别是时速 160 km 及以上的有砟轨道线路。因此,本规范对轨道控制基标法进行有砟轨道精调未作规定。

9.7.4 根据有砟轨道精调测量经验,在开展有砟轨道第一、第二遍精调测量时,为提高测量效率,轨道测量步长可根据现场情况适当放宽;当进行后续轨道精调测量时,轨道测量步长应不大于 5 m;当遇特殊情况或有特殊要求时,轨道测量步长应缩短为 2.5 m。

9.7.5 为使有砟轨道搭接区段长钢轨精调的质量满足平顺性要求,在搭接误差满足允许偏差要求后,应对搭接误差进行平滑处理。搭接区段平滑处理方式一般为线性平滑或余弦函数平滑。

9.7.6 随着轨道几何状态检测设备的开发与应用,以及大型机械设备作业模式的探索,在进行有砟轨道精调时,应根据大机作业需求,采用轨道检查仪等设备提供满足要求的拨道量、起道量数据。

10.1.1~10.1.3 《铁路技术管理规程》要求:“新建、改建工程竣工后,按规定进行验收。”为了满足铁路竣工验收的要求,铁路竣工验收前进行竣工测量。

竣工测量的目的:一是对新建铁路的线路工程及其附属建筑物、线路设备的空间位置和轨道几何形态进行客观的评定,为工程验收提供必要的基础资料;二是新建铁路交付运营后,竣工测量的成果将作为运营维护管理的基础资料。新建铁路竣工测量的内容应满足竣工文件编制的需要。

10.2.1 铁路工程测量 CP I 控制网、线上加密 CP II 控制点、CP III 控制网、线路水准基点和线上加密水准基点是铁路运营维护的基

准,属于铁路工程的一部分,应纳入竣工验收范畴。

在铁路交付运营后,CP I 控制网作为平面控制基准点完全满足运营维护的要求。CP0 作为平面坐标框架基准,在运营阶段的作用不大,且大多数 CP0 均在铁路用地范围以外,维护和复测成本太大,因此竣工复测的意义不大。

在铁路运营期间,线上加密 CP II 控制点和隧道洞内 CP II 控制点是轨道控制网 CP III 的平面起算基准,起着线路平面控制的作用。勘测和施工期间的 CP II 控制点因为不在铁路用地范围以内,容易破坏,复测及维护成本高,其作用已被线上加密 CP II 控制点和隧道洞内 CP II 控制点取代,因此竣工复测不包括勘测和施工期间的线下 CP II 控制点。

因长钢轨精调前的控制网复测与竣工复测的内容完全相同,而且长钢轨精调距竣工验收时间很短,在相距很短的时间内连续进行两次复测意义不大,从经济适用的角度出发,宜将控制网竣工复测与长钢轨精调前的控制网复测一并进行,即将长钢轨精调前的控制网复测成果作为控制网竣工复测成果交付运营单位。

10.2.3 里程贯通测量说明如下:

(1)由于在设计阶段和施工过程中的变更设计产生里程断链,为了运营管理的需要,竣工测量时根据轨道施工的线路设计参数,贯通全线里程,消除断链。

(2)为了编制路基表、桥涵表、隧道表、车站表、线路诸表以及现场设置线路标志桩等需要,里程贯通后需计算曲线五大桩、变坡点里程,测量立交道中心、涵洞中心、桥梁台前、台尾及桥梁中心、隧道进出口、隧道内断面变化处、车站中心、道岔中心、支挡工程起止点的位置和里程。

(3)由于铁路坐标系统的投影变形值一般不大于 25 mm/km,为按线路中心坐标推算里程提供了条件,采用线路中心坐标进行里程贯通计算后,使里程和坐标产生一一对应的关系,为铁路的运营维护和信息化管理提供了条件。虽然水平距离里程与目前实际

使用的斜坡里程有一定偏差,但即使是 20%的坡度所产生的里程误差也未达到 1/5 000,高于钢尺丈量的精度 1/2 000。因此,本条规定里程贯通采用线路中心坐标进行计算。

10.2.4 线路竣工平、纵断面及线路中线位置、轨面高程等数据反映了轨道铺设精度和线路运营前的初始状态,应作为线路竣工资料交付运营维护管理部门。由于在长钢轨精调时,采用轨道几何状态测量仪对轨道的空间几何状态进行了精密测量,因此线路竣工平、纵断面测量及线路中线位置、轨面高程等数据可利用长钢轨精调测量数据作为竣工资料交付运营部门。

10.2.5 线路竣工横断面测量在第 5.10 节线路横断面竣工测量的基础上,根据限界设计的要求,对影响行车安全的净空断面点进行检查。

10.2.7 隧道、桥涵、路基工程竣工测量在线下工程竣工验收时完成,车站及其附属建筑物竣工测量在单体建筑工程竣工时完成,并按竣工验收的要求编制竣工图。

10.2.8 接触网竣工测量按接触网竣工验收的要求,单独进行竣工测量。

10.3.2 铁路用地界桩测量的点位中误差 5 cm 是根据《城市测量规范》界址点的测量中误差要求制定的。

10.3.4 铁路竣工后,线路两侧的地形、地貌均发生了较大的变化,采用航测制图能真实反映竣工时的地形、地貌,有条件时优先采用。当沿线地形、地貌变化不大时,也可利用线路设计平面图进行修测。